سلسلة هندسة الإتصالات (٢)



نظم الإتصالات

م.ريم مصطفى الدبس





أنظمة الاتصالات (الجزء الأول)



أنظمسة الاتصسالات

(الجزء الأول)

تأليف ر**يم** الدبس



مكتبة المجتمع العربي للنشر

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (2004/1/118)

384

النبس، ريم

انظمة الإتصالات/ تأليف ريم الدبس. - عمان: مكتبة المجتمع

العربي، 2004

()

ر.إ. : 2004/1/118 :

الواصفات: / الإتصالات السلكية واللاسلكية/

" تم إعداد بياتات الفهرسة والتصنيف الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية.

حقوق الطبع محفوظة للناشر

Copyright ® All Rights reserved

الطبعة الأولى 2004م – 1424هـــ



مكتبة المجتمع العربي للنشر

عمان – شارع الملك حسين – مجمع الفعيس التجاري تلفاكس 4632739 ص. ب. 4244 عمان 11121 الأردن

القدمة

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيد الخلق والمرسلين سيدنا محمد صلى الله وعليه وسلم، أما بعد ،،،

فهذا هو كتاب نظم الاتصالات والذي تم بفضل الله وعونه بهذه الصورة، والتي نرجو من الله عز وجل أن يكون هذا الكتاب مرجعاً وعوناً للطلبة والراغبين في التعلم في هذا المجال من العلوم الذي أصبح سمة هذا العصر، الذي يتصف بالتطور والسرعة، وخاصة في مجال الاتصالات، حيث نلاحظ في كل يوم تطوراً سريعاً يظهر في عالم الاتصالات، كالإنترنت والأقمار الصناعية، والألياف الضوئية ... الخ.

حيث يتمحور هذا الكتاب في سبع وحدات رئيسية، وهي: الوحدة الأولى (تطور وخصائص أنظمة الميكرويف) والوحدة الثانية (حسابات الوصلة الرليوية) والوحدة الثالثة (تقنيات أنظمة الميكرويف ذات التعديل الترددي FM) والوحدة الرابعة (العوامل المؤثرة على أنظمة الميكرويف) والوحدة الخامسة (الحماية النظامية وأجهزتها) والوحدة السادسة (تقنيات وخصائص الميكرويف الرقادل).

وأخيراً نسأل الله أن يكون في هذا العمل فائدة للجميع ونسأله النجاح والتوفيق لجميع الطلبة الأعزاء ولكل من يقرأ هذا الكتاب.

المؤلفة

لفهـــرس

المقدمة
الرحدة الأولى
تطور وخصائص أنظمة الميكرويف
1-2 الطيف الترددي الميكروي وتقسيمة في العالم 17
1-3 أنواع أنظمة الإتصالات الميكروية
أنظمة الأقمار الصناعية المتزامنه
1-4 نقنيات التعديل الميكروي ومنعة القنوات
أسئلة الوحدة الأولى
الوحدة الثانية
حسابات الوصلة الراديوية
1−2 خواص انتشار الأمواج الميكروية
2-2 شدة المجال
2–3 قدرة الموجة المستقبلة
2-4 فقد الفراغ المخارجي
2-5 تأثير انحناء الأرض في انتشار الأمواج الميكروية 53
2-6 العوامل المؤثرة على ارتفاع الهوائيات 56
7-2 فقد موجه الموجه
2–8 نظام الهوائبي ومعامل كمىبة
2-8-1 هوائني القطع المكافئ العاكس
2-8-2 هو ائني كاسيجرين
2-8-2 الهوائني العاك <i>س</i> النوقي
2-8-4 هو اثبات حارف الحزمة 76

87	الوحدة الثالثة
89	تقنيات أنظمة الميكروف ذات التعديل التردديFM
95	اقتر انات بیسیل
99	عرض النطاق
	المعدلات الترددية
108	المعدلات العكمية الترددية
119	دوائر التأكيد السابق والتأكيد اللاحق
121	المستقبلات
128	المرسلات الهيتزودينية
	4
135	الوحدة الرابعة
137	العوامل المؤثرة على أنظمة الميكرويف
139	التشويش الحراري
144	النشويه
147	عطل المسار الميكروي
151	أعطال الأجهزة وأسبابها وطرق الكشف عنها
155	كشف وتحديد العطل
159	هبوط مستوى إشارة النطاق الأساسي
165	الوحدة الخامسة
167	الحماية النظامية وأجهزتها
168	النباين الترىدي
175	الإتصالات بين الأطراف

185	الوحدة المادسة
187	تقنيلت وخصائص أنظمة الميكرويف الرقمية.
190	أنظمة الحماية الإحتياطية
195	ظاهرة الخفوت التعد
197	المستقبلات- المرسلات الرقمية
200	أنظمة 8-PSK
203	أنظمة 16-QAM
215	الوحدة السلبعة
217	الرادارالرادار
220	تحديد المدى
224	تنبنب وعرض النبضة
228	المخطط الصندوقي للرادار
250	نظام رادار دوبلر النبضي
252	الرادار الثانويالله المار الثانوي
259	أسئلة الوحدة السابعة
264	المراجع العلمية

الوحدة الأولى



الوحدة الأولى:

تطور وخصائص أنظمة الميكرويف

1-1 مقدمة عن خصائص أنظمة المبكرويف وتطورها

Microwave Systems

كلمة " مايكرويف Microwave تقسر نفسها بنفسها، فهي تعني الموجات القصيرة جدا very short waves. على أي حال، ان ما يقصد بسكميرة يعتمد على من الذي يتكلم وما هو الإطار المرجعي له Reference والمناكيد ان الأشعة فوق البنفسجية ultraviolet لها طول موجى قصير short wave length بالمقارنة مع الأشعة تحت الحمراء High Frequency كما ان 400 دورة في الدقيقة (Hz) تردد عالى High Frequency مقارنة بسكم 60 دورة في الدقيقة كلا (وبالتالي طول موجي قصير حيث أن العلاقة بين التردد والطول الموجى علاقة عكسية).

كل الأمثلة المذكورة أعلاه تمثل بعض أشكال الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Waves، لكنها لا تمثل موجات مبكروية Microwaves تنفي الأشعة الميكروية Radiation تنفي الأشعة الكهرومغناطيسية التي تتشأ عن إشعاع Radiation الموجات الكهربائية ذات التالية التي تتراوح قيمتها تقريبا بين (GHz).

ان أعلى تردد (أو أقل طول موجي) للترددات في الطيف الراديوي هي في منطقة الميكرويف. لكن حدود هذه المنطقة ليست معرفة بشكل واضح. ففي الحد الأعلى لتردده فانه يتداخل overlap مع الأشعة تحت الحمراء. وفي الحد الأدنى لتردده تكون التقنية technique وليس التردد هي العامل المحدد. ان المبادئ الأماسية التي نتضمن underlying الموجات الرادبوية المنخفضة التردد والموجات الميكروية تبقى نفسها. وقد يكون الاختلاف الأماسي بين نظام المبكرويف والتقنيات الرادبوية الإعتبادية هي في المكونات components المتعلقة بالطول الموجى.

ان لأنظمة الميكرويف عد خصائص مفيدة، واحدة من أهم هذه الخصائص هي ان الطول الموجي الموجات الميكروية له نفس الحجم same size مع أي وحدة تستعمل لتوجيهها أو احتواءها.

ان نبضات الموجات الميكروية تستعمل لحسابات الزمن والمسافة مما يجعلها ملائمة Compatible للعمل مع الحاسب ذو السرعة العالية.

ازدادت أهمية الميكرويف أكثر وأكثر في أنظمة الاتصالات، الرادار Radar، الفضاء Navigation، والمجالات الأخرى. والسبب في ذلك يرجع إلى ميزئين Advantages لموجات الميكرويف للإشارات المنخفضة التردد Low Frequency Signals، هما:

1. الميزة الأولى هي عرض النطاق الزائد Increased Bandwidth . 1

 الميزة الثانية هي قابلية الميكرويف للاستخدام مع هوائيات موجهة Directive Antennas ذات كسب عالي High Gain.

ان طاقة موجات الميكرويف لها تأثير حراري Heating Effect مثلها مثلها مثل أشكال الطاقة المختلفة الأخرى. وأن لهذا التأثير الحراري عدة تطبيقات عميلة مثل فرن الميكرويف الطبخ المنزلي السريع الذي يطهو الطعام من الدلخل والخارج في نفس الوقت.

من أهم التطبيقات Applications الأخرى (على سبيل المثال وليس الحصر) الميكرويف المهمة في عالم الاتصالات Communication وغيره هي:

- 1. البث Broadcasting، في الوقت الحالي فان بث الراديو والتلفزيون تستعمل الترددات تحت مستوى ترددات الميكرويف. أن الازدحام congestion في عدد القنوات المرسلة بجعل الاستقبال صعب على البعض. وبسبب عدم توفر ترددات لأي زيادة في هذه القنوات اللبث في الترددات الراددات الراددات في منطقة الميكرويف. وأن بعض الدول تستقصي إمكانية البث لقنوات تلفزيونية محلية أو بالأقمار الصناعية على تردد 12GHz.
- 2. الاتصالات Communication، ان زيادة عرض النطاق Communication المتوالت الاتصال Carrier Frequency يتطلب تردد حامل Channels المتوالت المتوالت المتوالت على النظر المباشر الذي يستخدم المعيدات بقي مستخدما لمنوات عدة، وتوضع أبراج المعيدات التي تستقبل الإشارة وتقويها وتعيد إرسالها إلى المحطة التالية.

كما ان استخدام موجه الموجة الدائري Circular Wave Guide (على تردد 80GHZ) يعطي معة قنوات تعوض عن عدد كبير من الكوابل تحت الأرض Underground Cables.

ان موجات الميكرويف هني المستخدمة مع اتصالات الأقمار الصناعية Satellite Systems والاتصالات التي تستخدم الأقمار الصناعية. فقنوات الاتصال الميكروية لها عرض نطاق واسع سيتلاعم مع آلاف الخطوط التليفونية ودزينات من قنوات التلفزيون في نفس الوقت.

3. الرادار Radar، يمثل الرادار الاستخدام التقليدي للميكرويف، ولقد بدأ العمل به في بداية الحرب العالمية الثانية Second World war. الكلمة 'RADAR' مأخوذة من الأحرف الأولى المصطلح في اللغة الإنجليزية: RAdio Detection And Ranging. ان أبسط أتواع

- الرادارات هو الرادار النبضي pulse radar الذي يعطي دلالة عن موقع الطائرات من خلال حساب الزمن الذي تحتاجه الموجة الموجهة (وصداها) لتصطدم بالطائرة وتعود إلى الرادار عوهذه الموجة الموجهة هي كناية عن ضوء ضيق النطاق Narrow Beam Search Line. أما رادار دوبالر Doppler Radar أو CV يعطي دلالة عن سرعة الأجسام.
- 4. الحاسب الآلي Computers، ان الحاسب يعمل بمعدلات سرعة عالية وبالتالي فان المطلوب دوائر تعمل بتريدات عالية. ان تطبيق خطوط النقل Transmission Lines وتقنيات الميكرويف في تصميم نماذج الحواسيب ستصبح ضرورة.
- 5. الساعات clocks، الماعات الميكروية تقيم للتردد للتحولات المتناهبة في one second per millions الصغر لتعطي دقة ثانية لملايين السنين of years.
- 6. قياسات الرطوبة Moisture Measurements، بسبب ان الموجات المبكروية تمتص بواسطة الماء فان قياس نسبة الرطوبة moisture بواسطة الموجات الميكروية أمر ممكن من خلال قياس مقدار التوهين Attenuation في الموجة الميكروية المارة في العينة المراد قياس رطوبتها.
- 7. التسخين الميكروي Microwave Heating، ان معذل امتصاص Absorption الطاقة للأمواج الميكروية في معظم المواد يتناسب مع المحتوى المائي Water Content فيه. ويستفاد من هذه الخاصية للتسخين الميكروي المواد.

2-1 الطيف الترددي الميكروي وتقسيمه في العالم

Spectrum Frequency

ضّم الطيف التريدي Frequency Spectrum إلى حزم متتالية موضحة بالجدول التالى:

طول الموجة	مدى الترددات	رمز الحزمة	الحزمة
10 - 1 Mm	30-300 Hz	ELF	Extreme Low Frequency
1 - 0.1 Mm	0.3-3 KHz	SLF	Supper Low Frequency
100 - 10 Km	3-30 KHz	VLF	Very Low Frequency
10 - 1 Km	30-300 KHz	LF	Low Frequency
1 - 0.1 Km	0.3-3 MHz	MF	Medium Frequency
100 - 10 m	3-30 MHz	HF	High Frequency
10-1 m	30-300 MHz	VHF	High Frequency Very
100 - 10 cm	0.3-3 GHz	UHF	Ultra High Frequency
10 - 1 cm	3-30 GHz	SHF	Supper High Frequency
1 - 0.1 cm	30-300 GHz	EHF	Extreme High Frequency

ان الطول الموجي Wave Length يتناسب عكسيا مع نردد الموجة .Frequency حسب العلاقة التالية:

 $\lambda = C/F$

حبث:

300 Mm/sec سرعة الضوء في الغراغ وتساوي C

F: تردد الموجة ووحدته بالهرنز Hz.

ان لكل من هذه الحزم استعمالات خاصة نتيجة طبيعة انتشار الموجات Wave Propagation التابعة لكل حزمة وعرض النطاق للحزمة (Width (BW، فالحزم الترددية ليمت مصنفة بعرض نطاق ولحد. ويحسب عرض النطاق الحزمة حسب القانون التالي:

$$\mathbf{BW} = \mathbf{f_h} \cdot \mathbf{f_l}$$

حيث:

.High Frequency يمثل التربد العالي للحزمة: f_h

.Low Frequency يمثل التربد المنخفض للحزمة f_i

وفي أنظمة الاتصالات Communication Systems من الضروري توفير سعة كبيرة (عرض نطاق واسع) المتمكن من إرسال عدد كبير من القنوات Channels ، وعند الحديث عن مدى الترددات المطلوبة فالمقصود المطلوبة للموجة المعدلة Modulated (الحاملة Carrier الموجة الصوتية Waves المخفضة).

وبالتالي ليس من العملي أن نستخدم حزمة LF أو MF مثلا وإنما لتوفير المسعة المطلوبة يجب العمل في حزمة الترددات ذات النطاق الواسع مثل:

1. (Ultra High Frequency (UHF): ذات المدى الترددي من 3-0.3
 3. أي أن سعة النطاق لهذه الحزمة تساوي:

$$BW = f_{h-} f_{l}$$

= 3 - 0.3 = 2.7 GHz

Supper High Frequency (SHF) .2: ذات المدى الترددي من GHz
 أي أن سعة النطاق لهذه الحزمة تساوي:

$$BW = f_h - f_l$$

= 30 - 3 = 27 GHz

ان معظم القنوات الصوتية Audio Channels الاستعمال المتعدد القنوات تعمل ضمن هذه الحزم، ويتراوح عدد القنوات الصوتية المحمولة على كل حامل بين 60 و 2700 قناة بحسب الحاجة.

مثال 1: ما عرض النطاق BW لحزمة التربدات MF؟

الحل:

من الجدول نجد أن مدى ترددات هذه الحزمة يتراوح بين 3- 3- 0.3 MHz، وبالتالى فان عرض لنطاق BW بناء على القانون يساوي:

$$BW = f_h - f_l$$

= 3 - 0.3 = 2.7 MHz

مثال2: ما مدى الطول الموجي Wave Length لترددات نتراوح بين -60 600MHz

الحل:

بتطبيق قانون الطول الموجي Wave Length عند كل تردد يمكن ليجاد المدى المطلوب:

عند النردد الأول f = 60MHz يكون الطول الموجى:

$$\lambda = C/F$$

= 3*10⁸ /60*10⁶ = 5 m

عند النردد الأول f = 600MHz يكون للطول للموجي:

$$\lambda = C/F$$

= 3*10⁸ /600*10⁶ = 0.5 m

يتضح أن مدى الطول الموجي Wave Length يتراوح بين (5 - 0.5).

1-3 أنواع أنظمة الاتصالات الميكروية

Microwaves Communication Systems

- ان أنظمة الميكرويف Micro Waves كما نكر سابقا تحتاج إلى حزمة تريدات ذات النطاق الواسع مثل:
- 0.3-3 نات المدى التريدي من Ultra High Frequency (UHF) .1 . GHz
- 2. Supper High Frequency (SHF): ذات المدى الترددي من Supper High Frequency (SHF) . GHz

ان أنظمة الاتصالات الميكروية هي:

1. نظلم الاتصال بخط النظر المباشر Line of Sight (L.O.S) أو نظلم الاتشار المباشر الموجة Direct Wave Propagation. حيث يكون انتشار حزمة الموجات من المرسلة Transmitter بخط مستقيم مباشرة بانجاه المستقبلة Receiver.

ان انتشار الموجات بخط النظر المباشر (L.O.S) يكون محدود المسافة على سطح الكرة الأرضية بسبب انحناء الأرض Curvature of Earth. الأنظمة تشكل المحطات المعيدة الميكروية (محطات تقوية الإشارة Relay Station) جزء مهم لضمان اليصال الأمواج المرسلة المسافات الطويلة وبمعدل محطة معيدة كل 30-50Km. مثال على ذلك المسار بين العقبة وعمان توجد 5 محطات نقوية في مسافة مقدارها 300Km.

أي أن نظام خط النظر المباشر (أو الأنظمة المبكروية الأرضية) يتكون من:

أ. أطراف Terminals تمثل المرسلة والمستقبلة المعنية بالإرسال.

ب.محطات تقوية أو محطات معبدة انتوية الإشارة وإعادة بثها لتأمين وصولها من طرف الإرسال إلى طرف الاستقبال، والمسافة بين كل محطتى إعادة نتراوح بين Km ك-30.

ان قدرة المرسلات Pt في أنظمة خط النظر المباشر نتراوح بين Pt. 0.25-10.

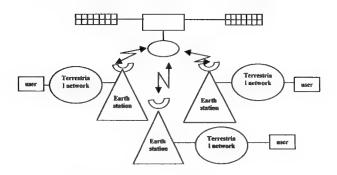
Automatic ويوجد في محطات الإعادة نظام تحكم أونوماتيكي watt

Control System الذي يوفر اتصال كهربائي أونوماتيكي بين المحطة وياقي المحطات عند حدوث عطل (ويختلف نوع الاتصال باختلاف العطل الوقع في المحطة)، ولذلك لا يوجد فني صيانة Maintenance

ان لمحطات الإعادة في أنظمة المباشرة المميزات التالية:

- نعد هذه المحطات رخيصة نسبيا ، حيث أنها أرخص من باقي الأنظمة التي تتعامل مع القنوات ذات الحزم الترددية العريضة Wide Band Width خاصة إذا ما قورنت بتكلفة أنظمة الأقمار الصناعية Satellite Systems.
- تمثل الحل المثالي المناسب في الأراضي كثيرة التلال التي يصحب الربط بين أطرافها لما تشكله المرتفعات من حواجز تحول دون انتشار الموجات.
- يعد النظام من أكثر الأنظمة اعتمادا خاصة إذا ما توفرت أجهزة احتياطية في المحطات التي تستبدل مع أي جهاز يحدث فيه عطل.

<u>Synchronous Satellite</u> أمتر المناعبة المترامنة Synchronous Satellite ويبين المخطط التالي مبدأ عمل هذا النظام:



حيث يتم الإرسال من المحطة الأرضية Earth Station إلى القمر الصناعي Satellite الموجود في الفراغ الخارجي (على ارتفاع ثابت يساوي 36 Mm لمساوي 36 Mm المستخبال الإشارة وتقويتها وإعادة بثها إلى باقي المحطات الأرضية ومنها المستخدمين Users. أي أن القمر الصناعي يعمل كمحطة تقوية (محطة معيدة فضائية) بين المحطات الأرضية يزمها قنوات اتصال. أن هذا النظام متبع في الأردن في محطة الأقمار الصناعية الموجودة في منطقة البقعة.

أن مساحة البث التي يغطيها البث بالأقمار الصناعية أكبر بكثير من المساحة التي يغطيها نظام خط النظر المباشر (L.O.S). حيث يغطي البث

مساحة واسعة تؤمن الإرسال بين بلدين أو أكثر وأو كانت بينهما مسافة طويلة.

3. أنظمة التشتت التربوسفيرية Scattering عند طبقات الموجات Scattering عند طبقات الجوالتربوسفيرية Scattering المعليا ذات الكثافة المنتفضة (بسبب خفة وزن الهواء في تلك الطبقات)، فتحني الأمواج المنتشرة بخط مستقيم نظجة الانكساريات المنتالية (الناتجة عن انتقال الأشعة من وسط كثيف إلى وسط أمّل منه كثافة). ان نظام التشتت التربوسفيري يستممل 300km إعادة أرضية يفصل بينهما مسافة تساوي 300km غير مستخدم في التشتت التربوسفيري Troposphere Scatter System غير مستخدم في الأردن.

4-1 تقتيات التحيل الميكروي وسعة القنوات Capacity of Channels

ان حزمة التربدات المستخدمة في أنظمة الميكرويف Microwaves ان حزمة التربدات المستخدمة في أنظمة المتربونية Limited ولذلك لا بد من القدوات Channels.

ان الاتحاد الدولي للاتصالات Frequency Spectrum إلى عدة حزم Union (ITN) فسم الطيف الترددي Frequency Spectrum إلى عدة حزم جزئية تخصص كل مجموعة بأنواع معينة من أنظمة الاتصال (راديو Radio) تلفزيون Television، هواتف خلوية Mobile Phones، أغراض عسكرية (Military) أقمار صناعية Satellite، أنظمة التشتت التربوسفيرية وما إلى

أن الاتحاد الدولي للاتصالات International Telecommunication مناخ عدد من المواصفات Regulations التي تحدد هذه التقسيمات الترددية بناء على عدد الاعتبارات منها:

1. نوع نظام الاتصال Communication Systems الذي يستعمل الحزمة الترددية (الأتواع السابقة الذكر). مثلا المواصفات الدولية الخاصة بأنظمة التافزيون تحدد عرض الحزمة للمحطة الولحدة ونوع التعديل المستخدم لنقل الصورة الصوت و التردد الحامل لل Sound Carrier و التردد الحامل الكلوان Video Carrier وقيمة الإزاحة القصوى Maximum Deviation للصوت وغيرها من المواصفات الخاصة بهذا النظام.

وان قيمة هذه المواصفات تختلف بحسب نوع النظام المستخدم إذا كان أو روبي (CCIR) أو أمريكي (FCC).

- 2. نقنية الأجهزة المستخدمة في النظام Radio Stations التي تستعمل التعديل مثلا في القنوات الراديوية Radio Stations التي تستعمل التعديل النزددي FM يكون العرض النمونجي الحزمة المحطة الواحدة يساوي 200KHz في حين أن يكون العرض النمونجي الحزمة المحطة الواحدة التي تستعمل التعديل السعوي AM يساوي 10KHz.
- 8. التكلفة Cost :فكلما زاد عرض النطاق BW المطلوب النظام كلما ازدادت تكلفته. وكلما ازدادت قدرة الإشارة المستخدمة Power كلما ازدادت تكلفته، أيضا.

لتوضيح مفهوم المواصفات الدولية، لنفرض عدم وجودها فكيف يكون الحال عندنذ؟ عندنذ، إذا أرادت محطة إرسال موجة صوتية مثلا فعلى أي تردد منتبث؟ وبأي عرض نطاق BW؟ وهل هذا النطاق شاغر بالكامل فقط لهذه المحطة؟ وفي أي حزمة ترددية؟ وهل سيكون التردد محجوز أم شاغر الاستعمال؟ وهذه الترددات مناسبة للمحطات الصوتية؟

بوجود المواصفات الدواية تصبح هذه الأمور أكثر وضوحا مما يزيد Maximum Activity. ويضمن العمل بالفعالية القصوى Efficiency. لأهمية هذه المواصفات فقد قبلتها كل دول العالم نقريبا. وقد تم وضع المواصفات الخاصة بحزمة التريدات التي نتراوح تقريبا بين (11.7- 1.7) Add كما هو موضح في الجدول التالي:

ملاحظات	الفتوات المسوتية الكلية	الفتوات الصوتية لكل فقاة	فلوات حماية	القنوات الراديوية الكلمة	مدى الترىدGHz
	-	راديوية		الطية (الأزواج)	
العدد الكلى للقنوات	1500	300	1	6	1.7-1.9
الصونية مصوب للقنوات	1500	300	1	6	1.9-2.1
العاملة في الحالة	1500	300	1	6	2.1-2.3
الاعتيادية					
تستعمل في الإرسال من	9000	1800	1	6	3.8-4.2
القر الصناعي إلى					
المحطة الأرضية Down Link					
	10800	1800	2	8	5.925-6.425
تستعمل في الأردن-	-	960	-	16	6.43-7.11
للهوائف والتلفزيون	16200	2700	2	8	
	3000	300	-	10	7.125-7.425

تستعمل في الأردن	-	-	-	-	7.425-7.725
اللتراسل التلفزيوني					
	10800	1800	2	8	7.725-8.275
تستسل في الأردن للأنظمة الرقبية Digital systems	1800	1800	2	12	10.7-11.7

لم يتم الاستفادة من النرىدات العالمية (فوق 12GHz) حتى وقت قريب.

ان كل حزمة من هذه الحزم يقسم بدوره إلى عدد من الحاملات الراديوية المنظمة في هيئة أزواج، وكل زوج يتكون من التردد الحامل للموجة المرسلة والتردد الحامل للموجة المرسلة والتردد الحامل للموجة المستقبلة (المحطة المرسلة والمستقبلة). وفي كل حزمة لا تعمل كل الأزواج الترددية في الحالة الاعتيادية وإنما يبقى زوج أو زوجين (حسب الحزمة) كاحتياط يشقلوا في حالة ضغط العمل أو العطل في أي من الأزواج العاملة الرئيسية.

ومن الجدول نجد أن لحزمة الترددات من 6.425 GHz مئة أزواج أساسية واثنين كاحتياط وفي ما يلي توضيح لقيم ترددات هذه الأزواج الثمانية وتوزيع تردد كل زوج أعلى وأدنى من التردد المركزي الحزمة Central frequency:

التريد أدنى من التريد المركزي	التردد أعلى من التردد المركزي	رقم الزوج
MHz	MHz	
5945.2	6197.24	1
5974.85	6226.89	2
6004.5	6256.54	3
6034.15	6286.19	4
6063.8	6315.84	5
6093.45	49.6345	6
6123.1	6375.14	7
6152.75	6404.79	8

و التردد المركزي Central frequency الحزمة بساوي: $\text{Central frequency = (} \ F_h + F_1 \text{)/2}$ يثم حساب عرض الحزمة (Band Width (BW) على النحو التالي: BW = Fh - Fl

حیث یمثل کل من:

High Frequency الأعلى F_h

لحزمة. Low Frequency الحزمة F_1

وبالتالي فانه لحزمة الترىدات من 6.425 GHz ، الترىد المركزي يساوي:

> Central frequency = (6.425 + 5.925)/2= 6.175 GHz

عرض الحزمة (Band Width (BW لهذه الحزمة يساوي:

BW = 6.425 - 5.925= 0.2 GHz

وكما ذكر سابقا لن سنة فقط من هذه الأزواج الثمانية التي تعمل في الحالة الاعتيادية، ومن الجدول نجد أن كل زوج من الترددات يعطي 1800 قناة صوبية وبالتالي فان العدد الكلي للقنوات الصوبية العاملة في الحالتين الاعتيادية والقصوى بساويان:

في الحالة الاعتبادية:

العدد الكلمي للقنوات الصنونية العاملة = القنوات الراديوية العاملة * القنوات الصنونية للقناة الراديوية الواحدة

وعدد القنوات الراديوية العاملة يعطى بالعلاقة:

عدد القنوات الراديوية العاملة = القنوات الراديوية الكلية - فنوات الحماية

أما في الحالة القصوى للعمل الذي نستخدم فيها قنوات الحماية فان:

العدد الكلي القنوات الصوتية العاملة = القنوات الراديوية الكلية * القنوات الصوتية للقناة الراديوية الواحدة

وبالتالي يتبين من الجدول أن لحزمة الترددات من 6.425 -5.925 GHz تكون القيمة:

في الحالة الاعتبادية:

عدد القنوات الراديوية العاملة = 8 – 2 = 6 قنوات.

وبالتالي فان:

العدد الكلي للقنوات الصونية العاملة = 6 *1800 = 10800 قناة صونية.

وفي الحالة القصوى للعمل:

العدد الكلى للقنوات الصونية العاملة = 8 *1800 = 14400 قناة صونية.

ومن الجدير بالذكر أنه لا يشترط استخدام قنوات الحماية بشكل إضافي للقنوات الأساسية وإنما يمكن استخدامها في حالة عطل أي من القنوات الأساسية بشكل تعويضي فيبقى العدد الكلي للقنوات العاملة يساوي ستة قنوات (في هذه الحزمة).

ان حرمة GHz 7 تستعمل بشكل كبير في الأردن، حيث نقسم إلى حرمتين جزئيتين :

الحزمة الجانبية العليا: تستعمل التلفزيون.

2. الحزمة الجانبية السفلى: تستعمل المواتف.

مثال1: استعن بجدول المواصفات لحساب القيم التالية لحزمة الترددات 2.1-2.3 GHz

- 1. التردد المركزي Central Frequency.
 - Band Width عرض الحزمة
 - عدد القنوات الراديوية العاملة.
- عدد القنوات الصوتية الكلية (في الحالتين العادية و القصوى).

الحل:

من الجدول بمكن الحصول على المعلومات الضرورية للحل، حيث: عدد القنوات الدادوية الكلية = 6 قنوات.

عدد القنوات الصوبية لكل قناة رادبوية = 300 قناة

1. التردد المركزي Central frequency للحزمة يساوي:

Central frequency =
$$(Fh + Fl)/2$$

= $(2.3 + 2.1)/2$
= 2.2 GHz

2. يتم حساب عرض الحزمة (Band Width (BW) على النحو التالي:

$$BW = Fh - Fl$$

= 2.3 - 2.1
= 0.2 GHz

عدد الغنوات الراديوية العاملة = الغنوات الراديوية الكلية - فنوات الحماية

4. في الحالة الاعتبادية:

العدد الكلي للقنوات الصنونية العاملة = القنوات الراديوية العاملة * القنوات الصنونية للقناة الراديوية الواحدة = 300 * 5 = 1500 هناة (كما هو واضح في الجدول)

أما في الحالة القصوى العمل الذي نستخدم فيها قنوات الحماية فان:

العدد الكلي الفنوات الصوتية العاملة = القنوات الراديوية الكلية * القنوات الصوتية للقناة الراديوية الواحدة

= 300 + 6 = 1800 كناة.

أسئلة الوحدة الأولي

- س1) ما المقصود بمصطلح "مايكرويف Microwaves" ؟
- من النزيدات المستخدمة في أنظمة الميكرويف Microwave Systems؟
 س3) ما الذي يحدد حدود النزيد للطيف الميكروي؟
- س4) وضح مميزات الترددات الميكروية نسبة إلى الترددات الراديوية المنخفضة.
 - س5) ما دور الترددات الميكروية في تطور الاتصالات؟
- س6) هوائي رادار Antenna of Radar يرسل إشارات بنزند 10 GHz ، فما هو الطول الموجي Wave Length للإشارة المرسلة؟
- س7) هوائي رادار Antenna of Radar يرسل إشارات بتردد 20 GHz ، فما هو الطول الموجي Wave Length للإشارة المرسلة؟
 - س8) ما هي سرعة الأمواج الكهرومغناطيسية في الفراغ؟
- س9) موجه موجة wave guide يرسل إشارات بتزند GHz 80، فما هو الطول الموجي Wave Length للإشارة المرسلة؟
- س10) ما عدد القنوات الراديوية Radio Channels المعدلة تعديل نرددي َ FM التي يمكن إرسالها خلال حزمة نرددية عرضها IMHz؟
 - س11) ما عدد القنوات الراديوية Radio Channels المعدلة تعديل سعوي AM التي يمكن إرسالها خلال حزمة ترددية عرضها 1MHz؟
 - س12) ما وظيفة الرادار النبضي Pulse Radar ؟
 - س13) ما وظيفة رادار دوبار Doppler Radar ؟
 - س14) ما مبدأ عمل فرن المبكرويف للمنزلي Microwave oven ؟

- س15) ما سبب الحاجة إلى استخدام نرددات الميكرويف Microwaves في دو اثر الحاسب؟
- س16) ما العلاقة بين الرطوية moisture والأمواج الميكروية . Microwaves ؟
 - س17) ما عرض النطاق BW لحزمة الترددات UHF؟
 - س18) ما عرض النطاق BW لحزمة الترددات VHF؟
- س19) ما مدى الطول الموجي Wave Length لنر ددات نتر اوح بين 30-2 GHz
- س20) ما مدى الطول الموجي Wave Length لنرددات نتراوح بين 30-2 MHz
 - س 21) ما تردد موجة ببلغ الطول الموجى لها 2 mm ؟
 - س 22) ما تردد موجة ببلغ الطول الموجى لها 2 µm ؟
- س23) ما هي حزم الترددات المستخدمة في أنظمة الميكر ويف Microwaves؟ ما سبب استخدام هذه الحزم الترددية عن غيرها؟
- س24) ما أنظمة الاتصالات الميكروية Systems
- س25) ما الاعتبارات التي تأخذها ITU في الاعتبار عند وضع المواصفات الدولية للحزم الترددية؟
- س26) ما تأثير تقنية الأجهزة المستخدمة في النظام Technique of من الترديق؟ Equipments
 - س27) ما الاستعمال الرئيسي للترددات 11.7-10.7 في الأردن؟

- س27) ما الاستعمال الرئيسي للترددات 7.11-6.43 في الأردن؟ كيف تقسم هذه الحزمة الترددية على هذه الاستعمالات؟
 - س28) ما أهمية قنوات الحماية؟
- س(29) ما أنظمة الاتصالات الميكروية Microwaves Communication من Systems المستخدمة في الأردن؟
 - س30) ما مبدأ عمل نظام القمار الصناعية Satellite Systems?
- س 31) ما مبدأ عمل أنظمة التثنيت التربوسفيرية Systems
- م 32) إذا كانت عدد القنوات الراديوية الكلية لإحدى الحزم الترددية يماوي 12 قناة، وعدد قنوات الحماية تساوي 2، فما عدد القنوات الراديوية العاملة لهذه الحزمة؟
- س33) إذا كانت عدد القنوات الراديوبة الكلية لإحدى الحزم الترددية يساوي 10 قنوات، وعدد قنوات الحملية تساوي 2، فما عدد القنوات الراديوبة العاملة لهذه الحزمة؟
- م 34) إذا كانت عدد القنوات الراديوية الكلية لإحدى الحزم الترددية يماوي 10 قنوات، وعدد قنوات الحماية تماوي 2، وعدد القنوات الصوئية لكل قناة راديوية تماوي 300 قناة، فما العدد الكلي القنوات الصوئية في الحالتين الاعتيادية وحالة العمل القصوى ؟
- س35) إذا كانت عدد القنوات الراديوية الكلية لإحدى الحزم الترددية يساوي 12 قنوات، وعدد قنوات الحماية تساوي 2، وعدد القنوات الصوتية لكل قناة راديوية تساوي 600 قناة، فما العدد الكلي القنوات الصوتية في الحالتين الاعتبادية وحالة العمل القصوى ؟

- س36) استعن بجنول المواصفات لحساب القيم التالية لحزمة الترندات -7.125 7.425 GHz :
 - 1. التريد المركزي Central Frequency.
 - 2. عرض الحزمة Band Width
 - عدد القنوات الراديوية العاملة.
 - عدد القنوات الصونية الكلية .
- - 1. التردد المركزي Central Frequency.
 - 2. عرض الحزمة Band Width .
 - 3. عدد القنوات الراديوية العاملة.
 - 4. عدد القنوات الصونية الكلية (في الحالتين العادية والقصوى).
- س38) استعن بجدول المواصفات لحساب القيم التالية لحزمة الترددات 7.725-8.275GHz
 - 1. التريد المركزي Central Frequency.
 - 2. عرض الحزمة Band Width
 - 3. عدد القنوات الراديوية العاملة.
 - 4. عدد القنوات الصونية الكلبة (في الحالتين العادية والقصوى).

الوحدة الثانية



الوحدة الثانية:

حسابات الوصلة الراديوية

1-2 خواص انتشار الأمواج الميكروية

microwaves propagation

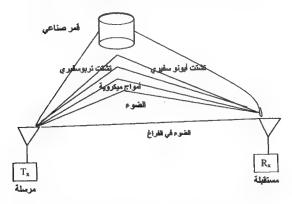
ان الإشارات الكهربائية ذات النزىدات المختلفة تبث بواسطة هوائي المرسلة Transmitter للمرسلة Transmitter المرسلة المستقبلة Receiver والذي يلتقط أو الفراغ الخارجي حتى تصل إلى هوائي المستقبلة Receiver والذي يلتقط الموجة ويعيد تحويلها إلى إشارة كهربائية مشابهة للإشارة الأصلية.

وعملية انتقال الموجات الميكروية من المرسلة إلى المستقبلة تتم بأكثر من طريقة. فقد تتنقل الموجات بشكل مباشر من المرسلة إلى المستقبلة، وقد تتمرض الموجة خلال انتقالها إلى تغير في خواص الوسط الناقل (حيث ان طبقات الجو المختلفة ليست متجانسة حيث نقل كثافة الهواء كلما ارتفعنا عن سطح الأرض ، كم أن نسبة الرطوبة فوق سطح البحر أعلى بكثير من قيمتها فوق اليابسة، وغيرها من التغيرات). وهذا التغير في كثافة الوسط الناقل يؤدي إلى انكسار الموجات الميكروية وبالتالي عند المستقبل يتم استقبال الموجة المنكسرة ذات فرق في الطور عن الموجة الأصلية.

وسيلة أخرى لإرسال واستقبال الموجات الميكروية هي بواسطة الأقمار الصناعية Satellites، حيث تبث الموجات من هوائي المرسلة إلى القمر الاصطناعي الذي يستقبل تلك الموجة ويعيد إرسالها إلى هوائي المستقبلة الأرضى، والميزة الخاصة بهذه الطريقة كبر المساحة التي يغطيها البث.

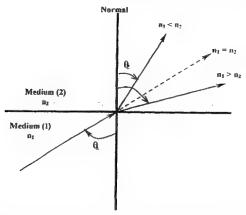
أى يمكن تلخيص الطرق التي يتم بها نقل الموجات الراديوية بما يلي:

- ا. نظام الانتشار المباشر من المرسلة إلى المستقبلة، أي نظام خط النظر المباشر (Line of Sight (LOS) والتي يمكن تمثيلها بخط مستقيم متجه من المرسلة إلى المستقبلة.
 - 2. بواسطة الأقمار الصناعية Satellites.
- انعكاس الأمواج عن سطح الأرض (أو سطح أملس) وارتدادها ووصول الموجة المنعكمة Reflected Waves إلى المستقبلة.
 - لنشئت التربومفيري Scattering و /أو الحيود Diffraction.
 و الشكل التالي يوضح الطرق المختلفة الانتقال الموجات الميكروية:

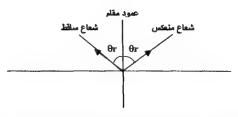


أن موضوع دراستا في هذه المرحلة هو نظام خط النظر العباشر قرب سطح الأرض (نظام انتشار الموجات العباشر) نو مسافات النقل المحددة. والموجات الميكروية في هذه الحالة تتنشر تقريبا بخط مستقيم كما الأشعة الضوئية وبالتالي لهما تقريبا نفس الخصائص الفيزيائية والتي يمكن تلخيصها بما يلي:

1. عند انتقال الموجة من وسط إلى آخر يختلف عنه في الكثافة نتعرض الموجة إلى ظاهرة الاتكسار، وتبرز هنا حالتين :إما ان الموجة كانت في الوسط الكثيف وانتقلت إلى الوسط الأقل كثافة، أو أنها كانت في الوسط الأقل كثافة وانتقلت إلى الوسط الأكثر كثافة. والشكل التالي يمثل وضع الشعاع المنكسر لكل من الحالتين:



2. عند تعرض الموجة إلى مطح أملس أو الأراضي الرطبة والمروية Irrigated Lands أو سطوح الماء فإنها تتعرض إلى الانعكاس بزاوية سقوط تماوي زاوية الانعكاس (وتقاس كل منهما نسبة إلى العمود المقام على السطح العاكم). والشكل التالي يوضح كل من الشعاع الماقط والمنعكس والعمود المقام وزاويتي المقوط والانعكاس:



 تؤثر الحواجز الصلبة كالبنايات والجبال والتلال في انتشار الموجات، حيث لا تسمح بمرور الموجات بشكل مباشر (لا يمنع ذلك من انتقال جزء من الموجة نبعا لظاهرة هايجينز).

2-2 شدة المجال Intensity

عالبا ما يتم تمثيل انتشار الموجات الميكروية (أو الضوئية) بخطوط مستقيمة. ولكن هذا التمثيل لا يفي بالغرض لشرح كافة الظاهر التي تتعرض لها تلك الموجات. وبالتالي نحتاج إلى طريقة تمثيل أخرى تكون مناسبة الشرح هذه الظواهر. ولذلك سنمثل الموجات كأنها موجات كروية (تتنشر بشكل دوائر كحال الموجات المتكونة على سطح ماء راكد عند إلقاء حجر فيه).

ونعلم أن مصدر الموجة هو هوائي المرسلة، وعند النظر إليه من مسافات بعيدة يظهر أنا كنقطة وبالتالي يمكن تمثيل مصدر الموجات بنقطة (أي اعتباره مصدر نقطي). والموجات المرسلة تأخذ شكل دوائر منبعثة من هذا المصدر النقطي ومنتشرة إلى جميع الاتجاهات بشكل منتظم.

Power (P₁) يقوم هوائتي المرسل ببث الموجات الميكروية بقدرة معينة المرسل ببث الموجات الميكروية بقدرة معينة والتي يجب أن تكون كبيرة بالقدر الكافي الذي يسمح لها بالوصول بشكل جيد ومقروء إلى المستقبلة. ولكن هذه قدرة الموجة المستقبلة سوف تتناقص بشكل

تدريجي كلما ابتعننا عن المصدر. ويصبح ما يهمنا معرفته هو شدة المجال عند نقطة معينة من المنطقة التي يغطيها البث.

P. تعرف شدة مجال وجة عند نقطة معينة بنسبة قدرة الموجة المرسلة P_{c} المساحة البث عند تلك النقطة P_{c} ووحدتها P_{c} وسلم وتحديث المساحة المدافة بين منقطة المراد قياس شدة المجال عندها (التي تمثل نصف قطر دائرة البث P_{c} عن النحو التالى:

 $A=4\pi R^2$

وبالتالي يمكن كتابة قانون شدة المجال على النحو التالي: $I=P_0/A=Pt/4\pi\,R^2$

نلاحظ ان العلاقة بين شدة المجال والمسافة تخضع لقانون التربيع العكسي، حيث تتناسب شدة المجال تناسب عكسي مع مربع المسافة بين المرسلة ونقطة القياس وانتوضيح قانون التربيع العكسي سنستعرض المثال التالي،إذا فرضنا أن الدينا مصدر ضوء نقطي Point Source فان شدة الإضاءة بالقرب من المصدر تكون كبيرة ، ولكنها تتناقص كلما ابتعنا عن المصدر وبنسبة متناسب مع مربع البعد عنه، أي أن لورجلين يقفان بالقرب من المصدر، أحدهما على مسافة تساوي ضعف مسافة الأول على مسافة الأول تساوي: R2=2R1 ، فان شدة الإضاءة في النقطة التي يقف فيها الشخص الأول تساوي:

 $I_1 = P_1/4\pi R_1^2$

وشدة الإضاءة في النقطة التي يقف فيها الشخص الثاني تساوي: $I_2 = P_v/4\pi\ R_2^{\ 2} = P_v/4\pi\ (2^*R_1)^2$ $= P_v/16\pi\ R_2^{\ 2} = I_1/4$. $I_2/I_1 = 4$

أي أن بزيادة المسافة إلى الضعف قلت شدة الإضاءة إلى الربع.

ونفس القانون ينطبق على العلاقة بين شدة الموجة الميكروية وعلاقتها ببعد المسافة عن نقطة القياس.

مثال1: إذا كانت قدرة الموجة المرملة P_i=100w ، فما قيمة شدة المجال الموجة عند نقطة تبعد عنها مسافة 20 Km ؟

الحل:

بنطبيق القانون الذي يعطي العلاقة بين البعد وشدة المجال نحصل على: $I=P_f/A=Pt/4\pi~R^2$ $= 100~/4\pi~(20~*~10^3)^2 = 199~~mwatt/m^2$

 R_1 مثال2: ما النسبة بين شدة المجال لموجة عند نقطة تبعد عن المصدر مسافة R=3R?

الحل:

نحسب شدة المجال عند كل نقطة ثم نجد النسبة بين القيمتين:

 $I_1 = P_t/4\pi R_1^2$ $I_2 = P_t/4\pi R_2^2 = P_t/4\pi (3*R_1)^2$ $= P_t/36\pi R_1$

بقسمة I_1 على I_1 نحصل على النسبة المطلوبة: $I_2/I_1 = (P_1/36\pi R_1)/(P_1/4\pi R_1^2)$ = 1/9

مثال3: إذا كانت قدرة الموجة المرسلة بساوي 150 watt ، فعلى أي بعد يجب ان يكون هوائي المستقبلة لتحقيق شدة مجال تساوي 2µw/m² ؟

الحل:

بنطبيق الفانون الذي يعطي العلاقة بين البعد وشدة المجال نحصل على: $I=P_v/A=Pt/4\pi\ R^2$ $R=\sqrt{(Pt/4\pi^*I)}$

$= \sqrt{(150/4\pi^*2^*10^{-6})}$ $= \sqrt{5968310} = 2.443 \text{ Km}$

مثال4: ما القدرة التي يجب أن نرسل بها الموجة لكي نحصل على شدة مجال. الموجة يساوي 0.1μw/m² عند مستقبلة نقع على بعد 10Km من المرسلة؟

الحل:

بنطبيق القانون الذي يعطى العلاقة بين البعد وشدة المجال نحصل على: $I=P_t/A=Pt/4\pi\ R^2$ $P_t=I^*4\pi\ ^*R^2$ $=0.1^*10^{-6}*4\pi^*\left(10^*10^3\right)^2$ $=130\ \text{watt}$

2-2 قدرة الموجة المستقبلة Power of Received Wave

كما ذكرنا سابقا قوم هوائي المرسلة بإرسال الموجات بقدرة إرسال معينة Pt وكلما ابتعدنا عن نقطة الإرسال تضعف الإشارة بنسبة تتناسب عكسيا مع مربع البعد عنها (علاقة شدة المجال بالمسافة).

وبالتالي فعندما نضع هوائي استقبال على مسافة A من المرسلة فان المتوقع أن قدرة الموجة المستقبلة P تكون أقل من القدرة المرسلة ولكنها نتتاسب مع قيمة الموجة المرسلة تتاسب طردي ، أي كلما زائت قيمة الموجة المستقبلة، ويمكن التعبير عن هذه العلاقة على النحو التألى:

PraPr

كما أن من العوامل الأخرى التي تؤثر على قيمة القدرة المستقبلة هو الهوائي Antenna المستخدم (لكل من المرسلة والمستقبلة). فلكل هوائي مقدار كسب خاص به G وكلما كانت قيمة هذا الكسب أكبر كلما كانت قيمة القدرة المستقبلة كانت كبيرة، أي أن العلاقة بين القدرة المستقبلة وكسب الهوائبين (G.(G.) علاقة طريبة تمثل بالعلاقة التالية:

 $P_r\alpha \: G_t\: G_r$

وبناء على قانون العكسي فان العلاقة بين القدرة المرسلة والمسافة بين هوائي المرسلة وهوائي المستقبلة D هي علاقة عكسية تربيعية، ويمكن تمثيل هذه العلاقة على النحو التالى:

 $P_r \alpha 1/D^2$

عامل آخر يؤثر على قيمة القدرة المستقبلة وهو تردد الموجة المرسلة Frequency حيث أن العلاقة تربيعية عكسية بينهما ، أو يمكن القول ان العلاقة تربيعية طردية بين القدرة المرسلة والطول الموجي لم بناء على العلاقة التي تربط التردد £ بالطول الموجى لم وهي:

 $\lambda = c/f = 3*10^8/f$

حيث تمثل c سرعة الضوء في الفراغ.

وبالنالي يمكن كتابة العلاقة بين القدرة المرسلة وكل من النردد أو الطول الموجى على النحو النالي:

 $P_r \alpha (1/f)^2$ $P_r \alpha \lambda^2$

ذلك يدل على أن الأمواج للميكروية والضوئية يشتركان فيما يلي:

1. العلاقة التربيعية العكسية مع التردد.

2. قانون التربيع العكسي مع المسافة.

بناء على كل ما ذكر يمكن تلخيص العوامل التي تعتمد عليها قيمة القدرة المرسلة بالعوامل التالية:

- قدرة الموجة المرسلة P₁.
- 2. تردد الموجة المرسلة (أو الطول الموجى لها).
- المسافة بين هواتي المرسلة وهوائي المستقبلة D.

فيمكن كتابة العلاقة النهائية لقدرة الموجة المستقبلة على النحو التالي:

$$P_t = P_r G_t G_r \lambda^2 / (4\pi D)^2$$
Or

 $P_t = P_r G_t G_r c^2 / (4\pi f^* D)^2$

غالبا ما يعد معامل كسب الهوائي (سواء كان هوائي المرسلة أو هوائي المستقبلة) يساوي 1، مما يبسط المعادلتين الأخيرتين إلى:

$$P_t = P_r (\lambda / 4\pi D)^2$$

Or

 $P_t = P_r (c / 4\pi * f * D)^2$

وبواسطة أي من هاتين المعادلتين يمكننا معرفة النسبة بين قدرة الموجة المرسلة ،P وقدرة الموجة المستقبلة ،P، فنجد أن هذه النسبة هي :

$$P_t / P_r = (\lambda / 4\pi D)^2$$

Or
 $P_t / P_r = (c / 4\pi^* f^* D)^2$

مثال1: جد قيمة قدرة الموجة المستقبلة بواسطة هوائي مستقبلة إذا علمت أن قدرة الموجة المرسلة يساوي 100 watt والتردد المستخدم في الإرسال يساوي 15MHz كما أن نقطة الاستقبال تبعد 50Km عن المرسلة. ثم أو جد النسبة بين القدرة المستقبلة والقدرة المرسلة.

الحل:

بالتطبيق المياشر لمعادلة القدرة المرسلة نحصل على:

$$\begin{split} P_t &= P_r (c / 4\pi^* f^* D)^2 \\ &= 100 (3^* 10^8 / 4\pi^* 15^* 10^6 * 50^* 10^3)^2 \\ &= 0.1 \ \mu w \end{split}$$

لإيجاد النسبة بين القدرة المستقبلة والقدرة المرسلة نقسم القيمة الأولى على الثانية فنحصل على:

$$P_t / P_r = 0.1 * 10^{-6} / 100 = 0.1 * 10^{-8}$$

نلحظ أن نسبة ما يصل المستقبلة من القدرة المرسلة هو قيمة قليلة.

مثال2: جد قيمة قدرة الموجة المستقبلة بواسطة هوائي مستقبلة إذا علمت أن قدرة الموجة المرسلة يساوي 1000 watt والتزدد المستخدم في الإرسال يتراوح بين 15MHz و30MHz كما أن نقطة الاستقبال تبعد 50Km

الحل:

أن قيمة القدرة المستقبلة سوف بتراوح بين قيمتين تبعا لقيمة التردد اللحظي المستخدم. والإيجاد حدود مدى القدرة المستقبلة يجب حساب قيمته عند قيمتى التردد العليا والسفلي:

أو لا: القدرة المستقبلة عند تريد 15MHz:

$$\begin{aligned} P_t &= P_r (c / 4\pi^* f^* D)^2 \\ &= 1000 (3^* 10^8 / 4\pi^* 15^* 10^6 * 50^* 10^3)^2 \\ &= 1 \ \mu w \end{aligned}$$

ثانيا: القدرة المستقبلة عند تردد 30MHz:

$$\begin{split} P_1 &= P_r (c / 4 \pi^* f^* D)^2 \\ &= 1000 \ (3^* 10^8 / 4 \pi^* 30^* 10^{6*} 50^* 10^3)^2 \\ &= 0.25 \ \mu w \end{split}$$

لذا ان قيمة القدرة المستقبلة يترلوح بين (μw , 0.25 μw).

لاحظنا في هذا المثال كيف قلت قيمة القدرة المستقبلة إلى الربع عند زيادة التردد إلى الضعف (علاقة عكسية تربيعية).

مثال3: أعد الإجابة على المثال السابق إذا علمت أن لهواتي المرسلة معامل كسب يساوي 2 وأن لهوائي المستقبلة معامل كسب يساوي 4.

الحل:

في هذه الحالة نطبق للمعادلة الأصلية لحساب القدرة المستقبلة والتي نأخذ فيها معامل كسب كل هوائي بعين الاعتبار ونعيد الخطوات التي نفذناها في المثال السابق.

أو لا: القدرة المستقبلة عند تردد 15MHz:

$$\begin{split} P_t &= P_r G_t G_r (c / 4\pi^* f^* D)^2 \\ &= 1000^* 2^* 4^* (3^* 10^8 / 4\pi^* 15^* 10^{6*} 50^* 10^3)^2 \\ &= 8 \ \mu w \end{split}$$

ثانيا: القدرة المستقبلة عند تريد 30MHz:

$$\begin{aligned} P_t &= P_r G_t G_r \left(c / 4 \pi^* f^* D \right)^2 \\ &= 1000^* 2^* 4^* \left(3^* 10^8 / 4 \pi^* 30^* 10^{6*} 50^* 10^3 \right)^2 \\ &= 2 \ \mu w \end{aligned}$$

إذا أن قيمة القدرة المستقبلة يتراوح في هذه الحالة بين(µw, 2 µw).

4-2 فقد الفراغ الخارجي (F.S.L) فقد الفراغ الخارجي

كما تطمنا فان الموجة المرسلة عبر هوائي المرسل إلى الفراغ الخارجي تتعرض إلى عوامل كثيرة تؤدي إلى إضعافها، فلا تصل إلى هوائي المستقبل بنفس القيمة التي أرسلت بها. وعلمنا أن عوامل كثيرة تؤثر في قيمة القدرة المستقبلة لخصت بما يلي:

- أد قدرة الموجة المرسلة .P.
- 2. نردد الموجة المرسلة (أو الطول الموجى لها).
- المسافة بين هوائي المرسلة وهوائي المستقبلة D.

وحصلنا على معادلة النسبة بين القدرة المرسلة والقدرة المستقبلة بالشكل النهائي التالي (على فرض أن معامل كسب الهوائي يساوي 1): $P_{\rm c}/P_{\rm r}\!\!=\!\!(c/4\pi^*f^*\,D)^2$

ويما أن هذه المعادلة تمثل نسبة النهائية الواصلة المستقبل (القدرة المستقبلة) إلى قيمة القدرة المرسلة من المرسل فهي تمثل معامل الكسب أو الفقد الذي تعرضت له الموجة (وفي حالة الأمواج المبكروية المرسلة عبر الهوائي فان ما نحسبه هنا يمثل الفقد وليس الكسب لأتنا لا نتوقع أن تزداد القدرة عند هوائي المستقبل وإنما تتخفض وبشكل ملحوظ كما سبق ودرسنا). فيمكن التعبير بصورة لوغاريتمية (بالديسييل) عن مقدار الفقد في الفراغ الخارجي (F.S.L)

F.S.L = -10 Log[(c $/4\pi^*f^* D)^2$] = -20 Log[c $/4\pi^*f^* D$] = -20 [Log(c/ 4π) - Log(f) - Log(D)] = -20 [Log(3*10⁸/ 4π) - Log(f) - Log(D)] = - 147.5 + 20 Log(f) +20Log(D)

ان الإشارة السالبة في القانون دلالة على أن الحاصل هوفقد وليس كسب. وتكون وحدة كل من التردد والمسافة عند تطبيقها في هذا القانون على النحو التالى:

التردد: يحسب بالهرنز Hz.

المسافة: تحسب بالمتر m.

ولذا أردنا تطبيق التردد بوحدة MHz والمسافة بوحدة Km فيجب تعديل القانون على النحو التالى:

$$F.S.L = -147.5 + 20 Log(f) + 20Log(D)$$

$$=-147.6+20 \operatorname{Log}(f*10^6)+20 \operatorname{Log}(D*10^3)$$

$$= -147.5 + 20 \operatorname{Log}(f) + 20 \operatorname{Log}(10^{6}) + 20 \operatorname{Log}(D) + 20 \operatorname{Log}(10^{3})$$

$$= 32.5 + 20 \text{ Log(f)} + 20 \text{Log(D)}$$
 dB

وإذا أردنا تطبيق النردد بوحدة GHz والمسافة بوحدة Km فيجب تعدل القانون على النحو التالم.:

$$F.S.L = -147.5 + 20 Log(f) + 20 Log(D)$$

$$= -147.5 + 20 \operatorname{Log}(f * 10^9) + 20 \operatorname{Log}(D * 10^3)$$

$$= -147.5 + 20 \operatorname{Log}(f) + 20 \operatorname{Log}(10^{9}) + 20 \operatorname{Log}(D) + 20 \operatorname{Log}(10^{3})$$

$$= 92.5 + 20 \text{ Log(f)} + 20 \text{Log(D)}$$
 dB

وبنفس الأسلوب نستطيع أن نجد العلاقة للتطبيق المباشر الإيجاد فقد. الفراغ الخارجي إذا كانت الوحدة المستخدمة للتردد هي MHz والوحدة المستخدمة للمسافة هي mile ، فنحصل على العلاقة التالية:

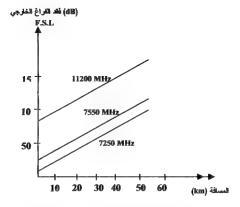
$$F.S.L = 36.6 + 20 Log(f) + 20 Log(D)$$
 dB

كل المعادلات المذكورة التي تربط فقد الفراغ الخارجي بالتردد والمسافة توضح أن العلاقة طردية لوغاريتمية بين :

أ. فقد الفراغ الخارجي والتردد.

2. فقد الفراغ الخارجي والمسافة.

فمثلا بزيادة الممافة إلى الضعف يزداد فقد الفراغ الخارجي بمقدار 20Log(2)=6 dB وكل من المعافة عند ترددات مختلفة:



مثال1: ما قيمة فقد الفراغ الخارجي لموجة ترددها 20MHz، إذا كانت الممافة بين المرسل والمستقبل تساوي 45KHz ؟

الحل:

بالإمكان تطبيق المعادلة الأساسية لإيجاد قيمة فقد الفراغ الخارجي على النحو التالي:

أو من الممكن تطبيق المعادلة الخاصة بالترددات بوحدة MHz والمسافة بوحدة Km، فنحصل على:

نلاحظ أننا حصانا على النتيجة نفسها بكل من الطريقتين.

مثال2: جد المسافة (بالميل) التي يجب أن نضع عندها هواتي المستقبلة إذا أردنا التردد الحصول على فقد فراغ خارجي لا يتعدى 100 dB . إذا كان التردد المستخدم في الإرسال يساوي 10 MHz ؟

الحل:

من الأنسب أن نستخدم المعادلة التي ستعطينا المسافة بالميل مباشرة:
$$F.S.L = 36.6 + 20 \text{ Log}(f) + 20 \text{Log}(D)$$
 $100 = 36.6 + 20 \text{ Log}(10) + 20 \text{Log}(D)$
 $20 \text{Log}(D) = 100 - 36.6 - 20 \text{ Log}(10)$
 $= 100 - 36.6 - 20$
 $= 43.4$
 $Log(D) = 43.4/20 = 2.17$
 $D = Log^{-1}(2.17) = 147.9 \text{ mile}$

ŧ,

مثال3: ما التغير في قيمة فقد الفراغ الخارجي إذا انخفض النردد للموجة المرسلة إلى النصف؟

الحل:

يجب أن نجد معادلة فقد الفراغ الخارجي العامة للحالة الأولى والحالة الثانية بعد انخفاض النردد إلى النصف ونجد الفرق بين المعادلتين والذي يمثل التغير في قيمة الفقد الخارجي:

الحالة الأولى: النردد = f

$$F.S.L_1 = 36.6 + 20 Log(f) + 20 Log(D)$$

الحالة الثانية: التريد = 1/2

$$F.S.L_2 = 36.6 + 20 Log(f/2) + 20Log(D)$$

= $36.6 + 20 Log(f) - 20 Log(2) + 20Log(D)$

أي ان قيمة فقد الفراغ الخارجي انخفضت بمقدار 6 dB عند انخفاض التردد إلى النصف.

مثال4: ما التغير في قيمة فقد الفراغ الخارجي إذا ارتفع كل من المسافة والتردد للموجة المرسلة إلى الضعف؟

الحل:

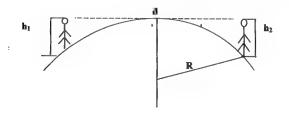
كما في المثال السابق سنجد معادلة فقد الفراغ الخارجي العامة الحالة الأولى والحالة الثانية بعد زيادة النردد والمسافة إلى الضعف ونجد الفرق بين المعادلتين والذي يمثل التغير في قيمة الفقد الخارجي:

$$D=$$
 الحالة الأولى: التردد $=$ 1 و المسافة $f=$ 32.5 +20 Log(f) +20Log(D) dB $D=$ الحالة الأولى: التردد $=$ 12 والمسافة $D=$ والمسافة $D=$ الحالة الأولى: التردد $=$ 12 والمسافة $D=$ الحالة الأولى: التردد $=$ 13.5 +20 Log($D=$ 10 dB $D=$ 10.5 +20 Log($D=$ 11.5 $D=$ 11.5 Log($D=$ 11.5

أي ان قيمة فقد الفراغ الخارجي ازدادت بمقدار 12 dB عند زيادة كل من التردد والمسافة إلى الضبعف.

2-5 تأثير الحناء الأرض في انتشار الأمواج الميكروية

كما نعلم أن الأرض ليست مستوية وإنما كروية الشكل. ولذلك فان رؤية الأشياء على سطح الأرض محددة بمسافة معينة، مثلا لا يستطيع الإنسان رؤية المغينة القادمة في البحر إلا بعد وصولها لنقطة معينة منه. وبكلمات أخرى، فأن خط النظر المباشر لا يصل إلى ما لاتهاية وإنما محصور بمسافات محددة تتناسب مع طول الشخص ونصف قطر الأرض ومدى لنحناء الأرض في المنطقة. والشكل التالى يوضح هذا المفهوم:



وما يقال عن خط نظر للإنسان يقال عن انتقال الأمواج الميكروية انتقال مباشر (خط النظر المباشر). فالأمواج المنتقلة بخط النظر المباشر لا يمكنها الوصول إلى مختلف الأماكن على سطح الأرض أو إلى مسافات منتاهية في البعد، وإنما تحدد المسافة التي يصل إليها البث بمدى ارتفاع كل من هوائي المرسلة والمستقبلة عن سطح الأرض. لا بد من تحديد العلاقة التي تربط ارتفاع شخصين (أو هو اثبين) و المدى لذي يستطيع خط النظر المباشر بالوصول له، بمعنى آخر يجب تحديد العلاقة بين أقصى مسافة ببعد بها شخصين أو هو اثبين عن بعضهما البعض بحيث يبقى بإمكان كل منهما رؤية الآخر.

لإيجاد هذه العلاقة من الشكل السابق نحد أولا بعض الرموز المستخدمة وهي:

h1: ارتفاع (طول) الجسم الأول عن سطح الأرض.

الرض الأرض. h_2 الرتفاع (طول) الجسم الثاني عن سطح الأرض.

r : نصف قطر الكرة الأرضية ويساوي 6370Km :

d : أقصى مسافة بين الجسمين يصله خط النظر المباشر L.O.S.

من الشكل السابق نميز مثلثين قائمي الزلوية. المثلث الأول له الضلعين $(r+h_2)$ وله الوتر $(r+h_2)$ ، والمثلث الثاني له الضلعين (d_2,r) وله الوتر $(r+h_2)$.

وبتطبيق قاعدة فيثاغورس على كل منهما نحصل على:

$$(r+h_i)^2 = d_1^2 + r^2$$

 $r^2 + 2rh_1 + h_1^2 = d_1^2 + r^2$
 $2rh_1 + h_1^2 = d_1^2$

وبما أن قيمة h₁ صغيرة جدا (بالأمتار) نسبة للى r (بالكيلومترات) فان تربيعها يمكن إهماله فتصبح المعادلة الأخيرة على النحو التالى:

$$2rh_1 = d_1^2$$
$$d_1 = \sqrt{2}rh_1$$

ويتطبيق نفس المعادلات على المثلث الآخر نحصل على نفس النتيجة: d₂ = \2rh₂ وبالتالي فان أقصى مسافة بين الجسمين يصله خط النظر المباشر L.O.S نساوى:

$$\begin{aligned} \mathbf{d} &= \mathbf{d}_1 + \mathbf{d}_2 \\ &= \sqrt{2rh_1} + \sqrt{2rh_2} \\ &= \sqrt{2r} \left[\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right] \\ &= 3.57 \left[\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right] \end{aligned}$$

حيث h_1 و h_1 بالأمنار، و h_1 بالكيلومنرات.

مثال1: ما أطول مسافة تفصل بين رجلين طول الأول 180cm وطول الثاني. 170cm بحيث يستطيع كل منهما رؤية الآخر بخط نظر مباشر؟

. . .

الحل:

بالتطبيق المباشر العلاقة السابقة مع مراعاة الوحدات المستخدمة في المعادلة، نجد أن:

$$d = 3.57 [\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}]$$

= 3.57 [\sqrt{1.8} + \sqrt{1.7}]
= 9.44 Km

مثال2: إذا كان هوائي المرسلة على ارتفاع 50m والمسافة بين المرسلة. والمستقبلة 75km ، فعلى أي ارتفاع يجب أن يوضع هوائي المستقبلة لكى نصل الأمواج المرسلة يخط مباشر؟

الحل:

بالنطبيق المباشر العلاقة السابقة مع مراعاة الوحدات المستخدمة في المعادلة، نجد أن:

$$d = 3.57 \left[\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right]$$

$$75 = 3.57 \left[\sqrt{50} + \sqrt{h_2} \right]$$

$$\sqrt{50} + \sqrt{h_2} = 75/3.57$$

$$\sqrt{h_2} = 21 + 7 = 28$$

$h_2 = 5.3 \text{ m}$

أي يجب أن نضع هوائي المستقبلة على ارتفاع 5.3m عن سطح الأرض كحد أدنى لكي يتمكن من التقاط الموجة المنتشرة بخط النظر المباشر من المرسل.

غالبا ما يوضع هواني المستقبلة على ارتفاع أقل من الارتفاع الذي يكون عليه هوائي المسلقة. ولا يمنع هذا القانون من أخذ أمور كثيرة بعين الاعتبار الذي تحكم المسلقة بين الهوائيين كطبيعة الأرض وما عليها من تضاريس كالجبال والتلال أو الوديان أو البنايات والأشجار الذي يمكن ان تحجب الروية (أو تقف حاجز دون مرور الأمواج المرسلة) فقد نحتاج في مثل هذه الحالات أن نضع الهوائي على ارتفاع أعلى من الارتفاع المحسوب بناء على القانون المذكور أعلاه.

6-2 العوامل المؤثرة على ارتفاع الهواتيات

ان الارتفاعات التي يجب أن توضع عليها الهوائيات ليست عشوائية وإنما تحكم بعدة عوامل. وهذه العوامل تحدد تبعا للمسارات التي تنتشر بها الموجة من المرسلة إلى المستقبلة:

- 1. مسار مباشر Direct :أمواج منتشرة انتشار مباشر (خط النظر المباشر Direct Waves (L.O.S
- 2. مسار غير مباشر Indirect : ممثل بالأمواج المنعكسة عن الأسطح المساء Reflected Waves
- مسار غير مباشر Indirect : ممثل بالأمواج لمنكسرة عن طبقات الجو المختلفة الكثافة Refracted Waves

ان كل من هذه الأمواج يؤثر في تحديد ارتفاع الهواتي بشكل معين. فالأمواج المنتشرة بخط النظر المباشر بين مرسلة ومستقبلة بينهما مسافة محددة تحكم ارتفاع كل من الهوائيين تبعا للعلاقة التي تم استفاقها في الموضوع السابق، وهي:

$d = 3.57 \left[\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right]$

فإذا كانت المصافة معينة بين المرسل والمستقبل وكان هوائي المرسل على ارتفاع معين، فان هوائي المستقبل بجب ان يخضع المعلاقة المذكورة لتحديد ارتفاعه عن سطح الأرض.

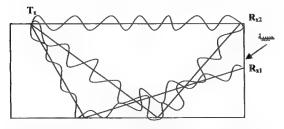
ان الموجة المرملة تتعكس عن الأسطح الملساء كالتربة الرطبة والمروية أو سطح البحر بزاوية سقوط مساوية لزاوية الاتعكاس. وبالتالي تسلك أشعة الأمواج المنعكسة مسار غير مباشر لكي تصل إلى نقطة الاستقبال. ومن خواص انعكاس الأشعة حدوث فرق طور Phase Shift بين شعاع موجة المسار المباشر وشعاع الموجة المنعكسة Reflected مقداره 180° إذا كان للموجنين نفس طول المسار أو بغارق طول موجة كاملة أو عدد صحيح من مضاعفاتها (Δn±)، حيث π تمثل أي عدد صحيح. وعند لجتماع هاتين الموجنين عند هوائي المستقبل ستلغي إحداهما الأخرى (لا يستقبل المستقبل أي موجة).

وعند زيادة ارتفاع أبراج الهوائيات فان الفارق بين المسافة المقطوعة في الموجة المباشرة والموجة المنعكسة يزداد، فإذا ما تمت معايرة ارتفاع الأبراج ليكون هذا الغرق مساوي لنصف طول الموجة (2/2) فان فرق طور Phase Shift آخر مقداره 180° سوف ينتج بين الموجئين، وبالتالي يصبح فرق الصفحة الكلي بين الموجئين يساوي 360° وبالتالي سيتم جمع الموجئين

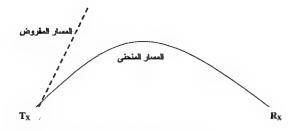
عند هولئي المستقبل عوضا عن إلغاء لِحداهما الأخرى (يِتَم تَعزيز الموجة عند هوائي الاستقبال لدرجة تصل للى الضعف).

أما إذا ما تمت معايرة ارتفاع الأبراج ليكون هذا الفرق مساوي لأي قيمة نسبة الطول الموجي ولكن ايس بالضبط 4/2 أو ٨، ففي هذه الحالة أيضا ينتج فرق طور بين الموجئين ولكن بقيم تتراوح بين 0° و180° وبالتالي عند جمع الموجئين المجتمعتين عند هوائي المستقبل نحصل على موجة ذات قيمة تبعا لقيمة الزاوية.

والشكل التالمي يوضح الموجنين المباشرة والمنعكسة وتأثير ارتفاع المهوائي على الموجة المحصلة منهما:



ان طبقات الجو المحيطة بالكرة الأرضية غير متجانسة، فكلما ارتفعنا عن سطح الأرض قلت كمية الفازات الموجودة وبالتالي انخفضت كثافة الهواء في نلك الطبقة. ونتيجة هذا الاختلاف في الكثافة بين طبقات الجو المختلفة (الطبقة الأيونسفيرية والترويوسفيرية) فان أشعة الموجات الميكروية سوف تتعرض للانكسار Reflection عند مرورها من طبقة إلى أخرى. وإذا ما تعرضت الموجة إلى عدة إنكسارات متتالية فستبدو وكأنها منحنية متجهة من المرسل باتجاه المستقبل كما هو موضح في الشكل التالي:



ويجب أن يعاير ارتفاع الهوائيات بحيث يستطيع هوائي المستقبل التقاط الموجة المنعكسة.

ان العولمل الجوية المختلفة من الرياح والرطوبة والأمطار والحرارة ومستوى بخار الماء والضغط وغيرها يؤثر في عملية الإرسال والاستقبال أيضا. حيث تؤثر على شكل انحناء الموجة من المرسل إلى المستقبل.

نعرف أو لا العامل K عامل تحدد قيمته تبعا للظروف والعوامل الجوية المختلفة السابقة الذكر ونظرا لكون هذه الظروف غير ثابتة وانما متغيرة خلال المسار الذي تقطعه الموجة فان هذا العامل أيضا متغير وليس ثابت القيمة كونه معيار لهذه الظروف. فعند انتقال الموجة من المرسل T_x إلى المستقبل R_x فإن العامل K_x يحدد طبيعة انحناء الموجة. وبالإمكان تمييز ثلاث حالات:

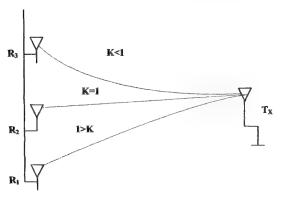
- 1. K>1 : في هذه الحالة تتحنى حزمة الأشعة للأسفل، وهذه هي الحالة الاعتبادية Normal والذي يجب ان يعاير فيها ارتفاع هوائي المستقبل R_x
- في هذه الحالة تتحنى حزمة الأشعة للأعلى، وهي حالة غير
 اعتيادية Abnormal، ويجب ان يعاير ارتفاع هوائي المستقبل Rx

ليكون على مستوى أعلى من ارتفاع هوائي المرسل T_x . عند انحناء الموجة نحو الأعلى فإنها تتعرض لخفوت كبير.

3. K=1 : في مثل هذه الحالة الخاصة تتبع حزمة الأشعة مسار خط مباشر ، ويجب ان يعاير فيها ارتفاع هوائي المستقبل R_x ليكون على نفس ارتفاع هوائي المرسل T_x .

وكما ذكرنا فان قيمة K ليست ثابتة خلال مسار الموجة كله وإنما تتغير بتغير الظروف الجوية وبالتالي فيمكن أن تكون حزمة الأشعة منحنية للأعلى في منطقة ومنحنية إلى الأسفل في منطقة أخرى أو تسير بخط مستقيم في منطقة ثالثة.

والشكل الثالي يوضح أسلوب انحناء الموجة تبعا لقيمة العامل K وتأثير ذلك على ارتفاع هوائي المستقبل:



مثال1: إذا كان تردد الموجة المرسلة يماوي 300MHz، الشرط الذي يجب تحقيقه في ارتفاع برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجنين المباشرة والمنعكسة عن سطح الأرض عند الاستقبال عوضا عن طرحهما؟

الحل:

إذا تمت معايرة ارتفاع البرج ليكون الفرق بين مسار الموجنين مساوي لنصف طول الموجة (4/2) فان فرق طور Phase Shift آخر مقداره °180 سوف ينتج بين الموجنين، وبالتالي يصبح فرق الصفحة الكلي بين الموجنين يماوي °360 وبالتالي سيتم جمع الموجنين عند هوائي المستقبل عوضا عن البغاء لجداهما الأخرى.

وفى هذه الحالة فان ٨ تساوي:

 $\lambda = c/f$ = 3*10⁸ / 300*10⁶
= 1

إذن يجب معايرة ارتفاع البرج ليكون الغرق بين مسار الموجنين5.0.5 مثال2: إذا عبرنا عن الموجة ذات الممار المباشر بالعلاقة التالية: $E(t) = 20 \sin(2*10^{10}t)$

فأحب عن الأسئلة التالية:

 ا. ما العلاقة التي تمثل الموجة المنعكسة؟ وما محصلة الموجئين عند هوائي المستقبل؟

2. ما الطول الموجى لهذه الموجة؟

3. على أي ارتفاع بجب ان يكون برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجئين المباشرة والمنعكسة عن سطح الأرض عند الاستقبال؟ 4. إذا تمت معايرة ارتفاع برج الهوائي بحيث تحقق فرق طور ثاني قيمته 100° فقط فما قيمة الموجة المحصلة عند الاستقبال في هذه المحالة؟

الحل:

ا. ان الموجة المنعكسة لها نفس معادلة الموجة الأصلية ولكن بفرق طور 180° فتصبح معادلة الموجة المنعكسة على النحو التالي: $E_{r}(t) = 20 \sin(2*10^{10}t + 180^\circ)$

محصلة الموجنين عند هوائي المستقبل هي ناتج الجمع , يساوي صفر بسبب فرق الطور °180

$$\begin{split} E_{total}(t) &= 20 \, sin(2*10^{10} t + 180^{o} \,) + 20 \, sin(2*10^{10} t) \\ &= -20 \, sin(2*10^{10} t) + 20 \, sin(2*10^{10} t) \\ &= 0 \end{split}$$

2. من الموجة الأصلية نجد أن السرعة الزلوية $10^{10}*2=0$ وبالتالي فان التردد يساوى:

$$f=\omega/2\pi$$
= $2*10^{10}/2\pi$ = $3.2*10^9$ Hz
= $2*10^{10}/2\pi$ = $3.2*10^9$ Hz
 $\lambda=c/f$
= $3*10^8/3.2*10^9 = 0.094$

 على ارتفاع يحقق فرق في المسافة بين المسار المباشر والمنعكس بقيمة 2/2 والذي تساوي :

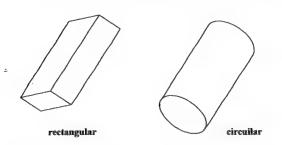
$$\lambda/2 = 0.094/2 = 0.047$$

4. في هذه الحالة فان علاقة الموجة المنعكسة تكون على النحو التالي: $E_r(t) = 20 \sin(2*10^{10}t + 100^\circ)$

محصلة الموجنين عند هو التي المستقبل هي ناتج الجمع:
$$E_{total}(t) = 20 \, sin(2*10^{10}t + 100^{\circ}) + 20 \, sin(2*10^{10}t) \\ = 25.7 \, sin(2*10^{10}t + 50)$$

7-2 فقد موجة الموجه ال

لاحظنا أن الأمواج الكهرومغناطيسية تتنقل من نقطة إلى أخرى بينما يتم بثها إلى جميع الاتجاهات. ومن الممكن توجيه الموجة لكي تتنقل من نقطة محددة إلى نقطة محددة أخرى في نظام مغلق من خلال التعامل مع موجه الموجة Wave Guide. وهومكون من موصل محاط بمادة عازلة يحمل الموجة Electromagnetic Waves ويوجد منه أنواع مختلفة مثل الدائري Circular والمستطيل Rectangular، نسبة إلى شكل المقطع العرضي للأنبوب (الموجه). كما هوموضح في الشكل التالي:



وينصرف موجه الموجه كمصفى تمرير الحزمة العالية High Pass . Filter. وتتعرض الموجة المارة داخل الموجه إلى فقد عند التريدات العالية (فوق تريد القطع الموجه) للأسباب التالية:

- 1. الخسارة الناتجة عن التيارات المارة في جدران الموجه.
- 2. الخسارة الناتجة بسبب وجود العوازل بين صفائح الموجه.
- عدم انتظام أجزاء الموجه ونقاط عدم الاتصال فيه تسبب اتعكاسات الموجة.
 وتعتمد قيمة هذه الخسائر على :
 - 1. نوع المادة المكونة لجدران الموجه.
 - 2. مدى خشونة جدران الموجه.
 - 3. نوع المادة العازلة الموجودة بين جدران الموجه.

ويمكن التقليل من قيمة هذه الخسائر بطلي الجدران الدلخلية المبطنة للموجه بالذهب أو البلاتينيوم.

وحيث أن موجه الموجه يتصرف كمصفى تمرير الحزمة العالية High Pass Filter، فان توهينا عاليا بحدث الموجة في الترددات دون تردد القطع ويكون هذا التوهين بسبب انعكاسات الموجة عند مدخل الموجه عوضا عن انتشارها.

8-2 نظام الهوائي ومعامل كسبه Antenna and its Gain

كلما ازداد كسب الهواتي المستخدم (سواء في المرسلة أو المستقبلة) كلما ازدادت قيمة القدرة المستقبلة. ان استعمال هواتي صغير يجب أن يرافقه نظام إيرال نو قدرة عالية، الأمر الذي يتطلب استخدام وحدات إضافية لزيادة القدرة التي تتطلب زيادة حجم البطاريات Battery والشاحن Charger والمضخمات Amplifiers وغيرها من الأدوات المساعدة لهذا الغرض.

نلاحظ التكلفة الإضافية المترتبة عن استخدام هوائي صغير، اذلك غالبا ما يستخدم هوائي ذو كسب فعال في الأنظمة الميكروبة Microwaves Systems ذات خط النظر المباشر L.O.S.

ان عمل الهوائي في المستقبل R_x هو التقاط الموجة المطلوبة والتي تم بثها من مرسلة معينة T_x ، ولكن الهوائي لا يحتوي على نظام نكاء اصطناعي تمكنه من معرفة الموجة المطلوبة المحددة من بين جميع الموجات المنتشرة في الغراخ، ولذلك فان الفعالية Activity التي يستقبل بها الهوائي الموجة المطلوبة لا تمثل كفاعته الفعلية.

ان كسب الهوائي المستخدم (في كل من المرسل والمستقبل) يجب أن يحقق قدرة استقبال أعلى من القيمة الدنيا التي يمكن فهم الموجة المستقبلة بها والتي لا يستطيع نظام الاستقبال تعييز الموجات دون هذا المستوى.

ان هوائى المحطات الأرضية يجب لن تحقق الشروط التالية:

- 1. بجب ان بكون له كسب عالى موجه Highly Directive Gain
- يجب ان يكون الهوائي درجة حرارة منخفضة نتيجة الضجيج . Noise Temperature.
- يجب أن يكون الهوائي قابل للتحرك بسهولة ليتم توجيهه بالاتجاه المطلوب.

يوجد عدة أنواع مختلفة من الهوائيات التي تستخدم في أنظمة البث المختلفة مبواء خط النظر المباشر L.O.S أو أنظمة الأقمار الصناعية Mobile أو الاتصالات المتحركة Satellite Systems أو الاتصالات المتحركة Communications وغيرها من الأنظمة، ولكل نظام الهوائيات التي تتكيف مع طبيعة العمل والترددات المستخدمة له.

ومن الجدير بالمعرفة الطيف الترددي لأنظمة الأقمار الصناعية والموضحة بالجدول التالي:

Frequency Band	Range in GHz
L	1-2
S	2-4
С	4-8
х	8-12
KU	12-18
K	18-27
Ka	24-40
Millimeter	300

وفي ما يختص بنظام خط النظر المباشر L.O.S ، فإن الهوائيات المستخدمة في هذا النظام هي:

- 1. هو ائى القطع المكافئ العاكس Parabolic Reflector
 - 2. هوائي كاسيجرين Cassegrain
 - 3. الهوائي العاكم البوقي Horn Reflector
- 4. هو ائيات حارف الحزمة Beam Reflector Antennas

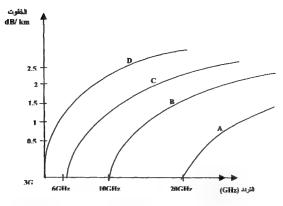
علمنا من المواضيع السابق طرحها في هذه الوحدة أن القدرة المستقبلة Pr بواسطة هوائي المستقبل Receiver تعتمد على عوامل عدة (لقد تم مناقشة تأثير الثلاثة نقاط الأولى بالتفصيل في ما سبق من المواضيع) هي:

- 1. القدرة المرسلة (Transmitted Power(Pt
- 2. النريد أو الطول الموجى الموجة Frequency or Wave Length
 - 3. كسب هوائيات المرسلة والمستقبلة Gain of Antennas

- الخفوت في المسار Attenuation : يحدث الموجة خلال انتشارها انخفاض في مستوى الإشارة نتيجة سبب أو أكثر من الأسباب التالية:
- أ. خفوت التداخل: بسلوك الموجة المرسلة عدة مسارات سينتج عدد من الموجات ذات الأطوار Phases المختلفة. ويتداخل هذه الموجات يحدث إضعاف المستوى الموجة المستلمة عند هوائي المستقبلة. فعند النعكاس الموجة عن سطح أماس يحدث فرق طور 180° وعند المستقبلة تجمع الموجئين المباشرة والمنعكسة فتلغي إحداهما الأخرى. وقد تحدث عدة انعكاسات الموجة المرسلة انتتج إشارة بخسارة متغيرة ويعد النظام في هذه الحالة لنه يعاني من خفوت متعدد المسارات والذي من أهم خصائصه الخفوت العميق لفترات زمنية قصيرة والتي يحدث خلالها فشل في الاستقبال. ويمكن التحكم بهذا الخفوت من خلال معايرة ارتفاع الهوائيات.

ويسمى هذا النوع أيضا (خفوت لختياري).

- ب. الانكسار الجوي Atmospheric Refraction. ويسمى أيضا (خفوت القدرة Fading) ويحدث هذا النوع من الخفوت Fading في ظروف جوية غير اعتبادية وتكون شدة الخفوت أقل وأن منحنى الإشارة المستقبلة Received signals يتعرض لتغيرات عشوائية Random بطيئة.
 - ب. الامتصاص الجوي Atmospheric Absorption. والذي يحدث نتيجة المطار والثلج ويكون تأثيره كبير جدا في الترددات المبكروية العالية، والشكل التالي يوضح العلاقة بين الخفوت (dB/Km) وبين التردد (GHz):



نلاحظ أن الخفوت (الخسارة لكل IKm في المسار) في الإشارة عند التردد GHz (الذي يستعمل للإرسال التلفزيوني والهوائف في الأردن كما ذكر سابقا) تكون قليلة نسبيا، ويزداد الخفوث (التوهين) Attenuation بازدياد التردد حتى يصبح حاد عند نردد GHz . ان التردد الأخير هو المستخدم للأنظمة الرقمية في الأردن وبالتالي فان التوهين الناتج عن الأمطار يجب ان يؤخذ بعين الاعتبار.

ان هذه الخسارة الإضافية في القدرة تحدث خلال جزء من الثانية ولكن ما يهم هو قيمة هذه الخسارة، وأن الأعطال غير المعدودة تجمع كل فترة زمنية قصيرة ولذلك يعرف الخفوت كنسية من الوقت السنة.

وفي ما يلي شرح لكل نوع من هذه الهوائيات ونركيبه وخصائصه.

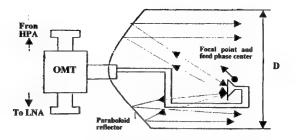
2-8-2 هو لتي القطع المكافئ العاكس Parabolic Reflector

هو هوائي ذو عاكس على شكل قطع مكافئ وله نقطة تغذية مركزية focal point of feeding . ومبدأ عمله مشابهة لعمل الضوء الأمامي السيارة. فلو أن الضوء كان مسلط بشكل مباشر إلى الشارع فان الإضاءة كانت ستتوزع على كل الفراغ الأمامي السيارة ولا نتم الإنارة المطلوبة أمام السيارة. ولكن ما يحدث أنه يوضع عاكس على شكل قطع مكافئ خلف مصباح الإضاءة وبالتالي تتعكس الأشعة على هذا السطح وتتركز التجتمع في نقطة ولحدة هي بؤرة الجدد. Focus القطع المكافئ حيث تكون نقطة البؤرة أمام السيارة بشكل يسمح بالروية الحيدة.

كذلك يتم عمل هوائي القطع المكافئ العاكس كذلك يتم عمل هوائي القطع المكافئ العاكس لتتمركز حيث تتعكس الأشعة القادمة من كافة الإتجاهات عن هذا السطح العاكس لتتمركز في البؤرة التي توجد عند المغذي البؤري الذي يلتقط الموجة وينقلها إلى مكبر الضجيج القليل (Low Noise Amplifier (LNA).

وما يحدث في هوائي المرملة أمر مماثل حيث يقوم مكبر القدرة العالمية المحذي High Power Amplifier (HPA) بتكبير الإشارة ثم تحول إلى المغذي البوقي الذي يقوم ببث الأشعة الذي تسقط على المسطح العاكس وبعد الانعكاس تركز الأشعة في حزمة بانجاه المحطة التالية المقابلة. ويتم ضبط توجيه الهوائي في انجاه معين بواسطة قضيبان المعايرة المستويين الرأسي Vertical والأفقي Horizontal.

والشكل للتالى يوضح تركيب هذا للهوائي:



وقيمة الكسب Gain الذي يحققه هذا الهوائي تعطى بالعلاقة التالية: $G = \eta(\pi\, Df/c)^2$

حيث أن:

η : فعالية الهواتي المؤثرة وتساوي لهوائي القطع المكافئ العاكس
 0.54.

D : قطر الهوائي بوحدة meter.

f : نردد الموجة المرسلة بالهرنز Hz.

 $10^8 \, \text{m/s}^2$ مسرعة الضوء في الفراغ وتساوي : c

وبتعويض هذه القيم في العلاقة أعلاه يصبح شكل العلاقة لكسب هو التي القطم المكافئ العاكس كما يلي:

$$G = \eta(\pi \text{ Df/c})^2$$

= 0.54 (\pi \text{ Df/3*108})^2
= (\pi \text{ Df/450})^2

حيث وحدة التردد في العلاقة الأخيرة هي MHz ووحدة قطر الهوائي بالمتر. ويمكن التعبير عن هذا الكمب بالديسييل فتصبح المعادلة لوغاريتمية على النحو التالي:

$$G = 10 \text{ Log}[(\pi \text{ Df}/450)^2]$$

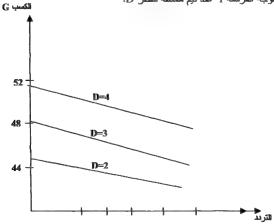
= 20 \text{ Log}(\pi \text{ Df}/450)]
= 20 \text{ Log}(D) + 20 \text{ Log}(f) - 43.1 \text{ dB}

حيث وحدة النردد في العلاقة الأخيرة هي MHz ووحدة قطر الهوائي بالمتر .

نلاحظ ان العلاقة طردية لوغاريتمية بين:

- 1. كسب الهوائي G والتردد المستخدم f.
- كسب الهوائي G وقطر الهوائي المستخدم D

والشكل التالي يوضح العلاقة بين كسب هوائي القطع المكافئ G وتردد الموجة المرسلة f عند قيم مختلفة للقطر D:



20 Log(2) =فعند رفع النردد إلى الضعف 2f يزداد الكسب بمقدار 3dB بأي لو كان مقدار الكسب الهوائي عند نردد 200MHz بساوي 6dB فعند نردد مساوي لضعف هذا النردد (400MHz) يكون كسب الهوائي أكبر 400MHz) ي يساوي 400MHz

ان هذا النوع من الهوائيات يعطي فعالية كسب بقيم مقبولة المدن المدن المدنة المدن المدنة المدن المدنة Reasonable Gain Efficiency تتراوح بين 50% و 60%. ولكن السيئة Disadvantage في استخدامه هي عند حدوث أعلى زاوية دوران اللهوائي High Elevation Angle. ففي هذه الحالة فان إشعاع المغذي High Elevation Angle سوف تسلط على حافة العاكس (ضياع الطاقة)، مما يؤدي في نهاية الأمر إلى ارتفاع درجة حرارة الهوائي وبالتالي زيادة التشويش الحراري Thermal Noise.

يعد هوائي القطع المكافئ العاكس من أكثر الهوائيات شيوعا. وعادة ما نجد واقي من الترددات الراديوية Radio Frequency (RF) حول الهوائي والذي يعمل على تحسين أداءه ، كما تفطى قبة الهوائي لمنع تحلل الثاج في مقدمة سطح العاكس Reflector.

مثال1: احسب كسب هوائي قطع مكافئ عاكس إذا علمت ان التردد المستخدم يساوي 20GHz ونصف قطر الهوائي 2.5m.

الحل:

أو لا نلاحظ أن المعلومة المعطاة عن حجم الهوائي ممثلة بنصف القطر وليس بالقطر كاملا منا أن النردد معطى بوحدة GHz وليس MHz، اذلك يجب مراعاة ذلك عند تطبيق معادلة الكسب:

G =
$$= 20 \text{ Log(D)} + 20 \text{ Log(f)} - 43.1$$
 dB
= $20 \text{ Log(2*2.5)} + 20 \text{ Log(20*10}^3) - 43.1$

مثال2: ما نصف قطر هوائي قطع مكافئ عاكس إذا علمت أن التردد المستخدم يساوي 20GHz و الكسب المطلوب تحقيقه يساوي 70dB ؟

الحل:

بالتطبيق المباشر لقانون الكسب نحصل على:

G = 20 Log(D) + 20 Log(f) - 43.1 dB
70 = 20 Log(D) + 20 Log(
$$20*10^3$$
) - 43.1
= 20 Log(D) + 86 - 43.1
20 Log(D) = 70-86+43.1 = 27.1
Log(D) = 27.1/20 = 1.355
D = Log⁻¹(1.355)
= 22.65 m

القيمة النائجة تمثل قطر الهوائي وبالتالي فان نصف قطر r هذا الهوائي يساوى:

> R = D/2 = 22.65/2 =11.325m • K-Band مثال3: ما هو كسب هوائي قطره 5m يعمل مع

> > الحل:

من الجدول السابق نجد ان ترددات K-Band نتراوح بين -18 ، وبالتالي يمكن حساب كسب الهوائي عند حدي التردد لإيجاد مدى الكسب:

الحالة الأولى: عند النريد 18GHz

G =
$$20 \text{ Log(D)} + 20 \text{ Log(f)} - 43.1$$

= $20 \text{ Log(5)} + 20 \text{ Log(18*10}^3) - 43.1$
= $14 + 85 - 43.1$

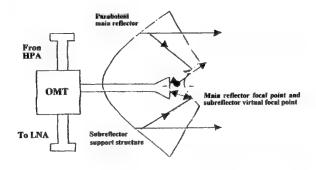
= 142.1 dB

الحالة الثانية: عند التريد 27GHz

وبالتالي فان كسب هذا الهوائي سيتراوح بين 142.1)dB - 59.5.

2-8-2 هواتي كاسيجرين Cassegrain

سمي هذا الهوائي نسبة إلى مخترعه العالم Cassegrain ان هذا الهوائي عبارة عن نظام هوائي عاكس مزدوج بيتكون من عاكس رئيسي والذي في بؤرته بوجد عاكس ثانوي كما هو موضح في الشكل التالي:



في الطرف الخاص بالمرسل فان تشع قدرة الإشارة من مكبر القدرة العالبة HPA بواسطة المغذي Feeder عند النقطة البؤرية الحقيقية وتسقط حزمة الأشعة على العلكس الثانوي المولجه للمغذي فتتعكس عنه لتسقط على العاكس الأساسي لتشكل الأشعة المنعكسة عن الأخير حزمة الأمواج المرسلة من العواشي.

وفي طرف الاستقبال يتم لنعكاس الأشعة الساقطة على سطح العاكس أ الرئيسي باتجاه البؤرة المركزية حيث تتعكس مرة أخرى على سطح العاكس الثانوي نحو المغذي لتتنقل إلى المرحلة التالية في المستقبل الممثلة بمكبر '

ان هو اتي كاسيجرين أكثر تكلفة من هو اتي القطع المكافئ العاكس بسبب العاكس الإضافي ولتكامل الوحدات الرئيسية الثلاث اللهو اتي: العاكس الرئيسي، والعاكس الثانوي والمغذي.

من مميزات هوائي كاسبجرين Advantages:

- الهوائي درجة حرارة منخفضة نتيجة الضجيج Low Noise
 أي أن الخسارة الناتجة عن الحرارة ذات قيمة قليلة.
- دقة في التوجيه ومرونة في تصميم المغذي Pointing accuracy and .
 Flexibility in Feed Design
- تحقيق توازن ميكانيكي أعلى عند وضع المغذي بجانب العاكم الأساسي أفضل من هوائي القطع المكافئ العاكس.

وتقريبا كل المحطات الأرضية Earth Stations تستخدم هذا النوع من الهوائيات، ويزداد استخدامه في قنوات الربط للحزم العريضة.

3-8-2 الهوائي العاكس البوقي Horn Reflector

ينكون الهوائي العاكس البوقي Horn Reflector من مغذي قمعي Funnel Feed وقبة الإشعاع

Radiation Dome. وسمي بالبوقي لكونه يأخذ شكل البوق بسبب المغذي القمعي.

ويمنتصل الهوائي البوقي Horn Reflector في المسارات الميكروية لقنوات الربط التي تتعامل مع حزم نرددات مختلفة.

4-8-2 هو البيات حارف الحزمة 4-8-2

تتكون هذه الهوائيات من مجموعة من المرايا المسطحة التي تعمل على تحريف مسار حزمة الأمواج المنشرة من المرسلة إلى المستقبلة والموجودتين على قمتين مختلفتين (كطرفي جبلين أو ثلتين) وذلك لتأمين وصول الموجة المرسلة التي يصعب إيصالها بخط النظر المباشر. ومن هنا جاءت التسمية "حار ف الحز مة Beam Reflector".

تعمل هولتيات حارف الحزمة Beam Reflector Antennas على المسال حزمة الأمواج من المرمل إلى المستقبل من خلال معايرة أكثر من مرآة مسطحة لنقوم بعكس حزمة الأشعة المساقطة بكل مرآة فتوفر بذلك مسار متعرج لمرور الموجات عند النقاط الصعبة (كقسم الجبال)، ويطبق عند كل مرآة قانون الانعكاس (زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس)، فنعاير المرايا بحيث تحقق زوايا الانعكاس في النهاية المسار المطلوب.

وبالتالي فان هذا النوع من الهوائيات يختلف عن الأنواع السابقة التي تمثل هوائيات أولية تغذي المرسلة الهوائي بشكل مباشر أو يتم وصله في مدخل المستقبل مباشرة.

والشكل النالي يوضح عمل هواتيات حارف الحزمة:

Retuin Beins

أسئلة الوحدة الثانية

- س1) عدد خواص انتشار الأمواج الميكروية Microwaves.
- س2) ما نقاط التشابه بين الأمواج الميكروية Microwaves والأمواج
 الضوئية؟
 - س3) متى يكون مسار الشعاع المنعكس تحت مستوى المسار الأصلي؟
 - س4) متى يكون مسار الشعاع المنعكس فوق مستوى المسار الأصلي؟
- مر5) إذا أسقط شعاع ضوئي على سطح أملس بزاوية سقوط تساوي 60°، فما قيمة الزاوية التي ينعكس بها هذا الشعاع مرتدا مرة أخرى إلى نفس الوسط (زاوية الاتعكاس)؟
- س6) ما تأثير الحواجز الصلبة كالبنايات والجبال والتلال في انتشار الموجات؟
 س7) ما الطرق الذي تنتشر بها الأمواج الميكروية في الفراغ؟
 - س8) ما المقصود بشدة مجال الموجة الميكروية Intensity؟
- س9) إذا كانت قدرة موجة ميكروية مرسلة P_i=400w ، فما قيمة شدة المجال للموجة عند نقطة تبعد عنها مسافة 25 Km ؟
- R_1 ما النسبة بين شدة المجال أموجة عند نقطة تبعد عن المصدر مسافة $R=2.5R_1$ وشدة المجال عند نقطة أخرى تبعد عن المصدر مسافة
- م 11) لذا كانت قدرة الموجة المرسلة يساوي $250~{
 m watt}$ ، فطى أي بعد يجب ان يكون هوائي المستقبلة لتحقيق شدة مجال تساوي $20.1 {
 m \mu w/m}^2$
- س12) ما القدرة التي يجب أن نرسل بها الموجة لكي نحصل على شدة مجال الموجة يماوي 4μw/m² عند مستقبلة نقع على بعد 50Km من المرسلة؟

- س13) ما العوامل التي تؤثر في قيمة القدرة المستقبا؟
- س14) جد قيمة قدرة الموجة المستقبلة بواسطة هوائي مستقبلة إذا علمت أن قدرة الموجة المرسلة يساوي watt والتردد المستخدم في الإرسال يساوي 50MHz كما أن نقطة الاستقبال نبعد 150Km عن المرسلة. ثم أو جد النسبة بين القدرة المستقبلة والقدرة المرسلة.
- س15) : جد قيمة قدرة الموجة المستقبلة بواسطة هواتي مستقبلة إذا علمت أن قدرة الموجة المرسلة يساوي#400 wat والتردد المستخدم في الإرسال يتراوح بين 20MHz و40MHz كما أن نقطة الاستقبال تبعد عن المرسلة.
- ما الإجابة على السوال السابق إذا علمت أن لهوائي المرسلة معامل
 كسب يساوي 4 وأن لهوائي المستقبلة معامل كسب يساوي 6.
 - س17) ما المقصود بفقد الفراغ الخارجي F.S.L؟
- س18) أثبت أن معاملة فقد الفراغ الخارجي F.S.L عند استخدام وحدة السيل للمسافة ووحدة MHz للتريد تكون على النحو التالي:
 - F.S.L = 36.6 + 20 Log(f) + 20 Log(D) dB
- س19) جد صبغة معادلة فقد الفراغ الخارجي F.S.L عند استخدام وحدة الميل (mile) للمسافة ووحدة MHz
- س20) جد صيغة معادلة فقد الفراغ الخارجي F.S.L عند استخدام وحدة الميل (mile) المسافة ووحدة GHz للتردد .
- س21) ما قيمة فقد الفراغ الخارجي لموجة ترددها 30MHz ، إذا كانت المسافة بين المرسل والمستقبل تساوي 55KHz ؟

- س22) جد المسافة (بالميل) التي يجب أن نضع عندها هوائي المستقبلة إذا أردنا الحصول على فقد فراغ خارجي لا يتعدى 140 dB . إذا كان التردد المستخدم في الإرسال يساوي 30GHz ؟
- س23) ما التغير في قيمة فقد الفراغ الخارجي إذا انخفض التردد المموجة المرسلة إلى الثلث؟
- س24) ما التغير في قيمة فقد الفراغ الخارجي إذا انخفض التردد الموجة المرسلة إلى الربع؟
- س25) ما التغير في قيمة فقد الفراغ الخارجي إذا ارتفع كل من المسافة والتردد للموجة المرسلة إلى الضعفين؟
- س26) ما التغير في قيمة فقد الفراغ الخارجي إذا ارتفع المسافة إلى الضعف وانخفض النردد للموجة المرسلة إلى النصف؟
 - س27) ما تأثير انحناء الأرض في انتشار الأمواج الميكروية ؟
- س28) ما أطول مسافة تقصل بين رجلين طول الأول 160cm وطول الثاني 150cm بحيث يستطيع كل منهما رؤية الآخر بخط نظر مباشر؟
- س29) إذا كان برج هوائي المرسلة Transmitter على ارتفاع بحب أن والمسافة بين المرسلة والمستقبلة 100Km ، فعلى أي ارتفاع يجب أن يوضع هوائي المستقبلة Receiver لكي تصل الأمواج المرسلة بخط مباشر L.O.S؟
- س30) ما تأثير وجود المرتفعات الطبيعية أو المباني العالية على حساب المسافة الفاصلة بين هوائيين لتحقيق انتشار الأمواج Wave ... Y.O.S المباشر L.O.S.

- س31) ما العوامل المؤثرة على ارتفاع الهوائيات Antennas عن سطح الأرض Earth Surface؟ اشرح باختصار عن كل عامل.
- س32) وضح بالرسم شكل انحناء الموجة الميكروية المرسلة في كل من الحالات التالية:
 - .K=2/3.1
 - .K=1.2
 - .K=4/3 .3
- س33) ما تأثير العامل K في كل حالة في المدؤال السابق على ارتفاع هوائي المستقبلة؟
- س34) ما مستوى ارتفاع برج هوائي المرسل إلى مستوى هوائي المستقبل (أعلى منه أو أقل ارتفاعا أو مساوي له في الارتفاع) في ككل من الحالات التالية:
 - .K = -1.5 .1
 - .K=1.5 .2
 - .K=1 .3
- س35) إذا كان تردد الموجة المرسلة بساوي 3 GHz 3، فما الشرط الذي يجب تحقيقه في ارتفاع برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجئين المباشرة Direct والمنعكسة Reflected عن سطح الأرض عند الاستقبال عوضا عن طرحهما؟
- س36) إذا كان نردد الموجة المرسلة يسلوي 30 GHz، فما الشرط الذي يجب تحقيقه في ارتفاع برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجنين المباشرة

Direct والمنعكسة Reflected عن سطح الأرض عند الاستقبال عوضا عن طرحهما؟

س37) إذا عبرنا عن الموجة ذات المسار المباشر بالعلاقة التالية: $E(t) = 8 \sin(6.84*10^{10}t)$

فأجب عن الأسئلة التالية:

- ما العلاقة التي تمثل الموجة المنعكسة؟ وما محصلة الموجنين عند هوائي المستقبل؟
 - ما الطول الموجي لهذه الموجة؟
- على أي ارتفاع يجب ان يكون برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجئين المباشرة والمنعكسة عن سطح الأرض عند الاستقبال؟
- 4. إذا تمت معايرة ارتفاع برج الهوائي بحيث تحقق فرق طور ثاني قيمته 160° فقط، فما قيمة الموجة المحصلة عند الاستقبال في هذه الحالة؟

س38) إذا عبرنا عن الموجة ذات المصار المباشر بالعلاقة التالية: $E(t) = 8\cos(3.14*10^{10}t)$

فأجب عن الأسئلة التالية:

- ما العلاقة التي تمثل الموجة المنعكمة؟ وما محصلة الموجئين عند هوائي المستقبل؟
 - 2. ما الطول الموجى لهذه الموجة؟
- 3. على أي ارتفاع يجب ان يكون برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجئين المباشرة والمنعكمة عن سطح الأرض عند الاستقبال؟

- 4. إذا تمت معايرة ارتفاع برج الهوائي بحيث تحقق فرق طور ثاني قيمته 140° فقط، فما قيمة الموجة المحصلة عند الاستقبال في هذه الحالة؟
 - (39) إذا عبرنا عن الموجة ذات المسار المباشر بالملاقة التالية: $E(t) = 10\cos(3.14*10^{10}t) + 12\sin(6.28*10^{10}t)$ فأحب عن الأسئلة التالية:
- ا. ما العلاقة التي تمثل الموجة المنعكسة؟ وما محصلة البموجتين عند هوائي المستقبل؟
 - 2. ما الطول الموجى لهذه الموجة؟
- 3. على أي ارتفاع يجب ان يكون برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجنين المباشرة والمنعكسة عن سطح الأرض عند الاستقبال؟
- 4. إذا تمت معايرة ارتفاع برج الهوائي بحيث تحقق فرق طور ثاني قيمته 140° فقط، فما قيمة الموجة المحصلة عند الاستقيال في هذه الحالة؟
 - س40) إذا عبرنا عن الموجة ذات المسار المباشر بالعلاقة التالية: E(t) = 10 sin²(6.28*10¹⁰t)

فأجب عن الأسئلة التالية:

- ما العلاقة التي تمثل الموجة المنعكسة؟ وما محصلة الموجئين عند هوائي المستقبل؟
 - 2. ما الطول الموجى لهذه الموجة؟
- على أي ارتفاع يجب ان يكون برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجئين المباشرة والمنعكسة عن سطح الأرض عند الاستقبال؟

4. إذا تمت معايرة ارتفاع برج الهوائي بحيث تحقق فرق طور ثاني قيمته 140° فقط، فما قيمة الموجة المحصلة عند الاستقبال في هذه الحالة؟

س42) إذا عبرنا عن الموجة ذات المسار المباشر بالعلاقة التالية: E(t) = 16 cos²(314*10¹⁰t)

فأجب عن الأسئلة التالية:

- إ. ما العلاقة التي تمثل الموجة المنعكسة؟ وما محصلة الموجئين عند هوائى المستقبل؟
 - 2. ما الطول الموجي لهذه الموجة؟
- على أي ارتفاع يجب ان يكون برج هوائي المستقبل لكي يتم جمع الموجئين المباشرة والمنعكسة عن سطح الأرض عند الاستقبال؟
- 4. إذا تمت معايرة ارتفاع برج الهوائي بحيث تحقق فرق طور ثاني قيمته 140° فقط، فما قيمة الموجة المحصلة عند الاستقبال في هذه الدالة؟
- س42) ما المقصود بموجه الموجة Wave Guide ؟ ما أنواعه؟ ومما ينكون؟
- س43) ما الخسائر Losses التي تحدث للموجة في موجه الموجة وما مسبها؟ س44) كيف يتم التقليل من الخسائر التي تحدث الموجة في الموجه؟
- س45) ما الصفات الواجب توفرها في هوائي المحطات الأرضية Antennas و 45) ما الصفات الواجب و 6 Earth Stations
- س46) قارن بين ترددات القنوات الفضائية المرسلة على C-Band وبين مدى الترددات لهذه الحزمة الموجودة في جدول الطيف الترددي لأنظمة

- الأصار الصناعية Satellite Spectrum .(جزء من الحل نوصيغة عملية).
- ب المجازاء هوائي القطع المكافئ العاكس Parabolic Reflector ، ما أجزاء هوائي القطع المكافئ العالم المجازات ال
- س48) احسب كسب هوائي قطع مكافئ عاكس إذا علمت أن التردد المستخدم يساوي 12GHz ونصف قطر الهوائي 2.5m.
- س49) لحسب كسب هوائي قطع مكافئ عاكس إذا علمت أن التردد المستخدم يساوي 12GHz ونصف قطر الهوائي 5m.
- س50) ما نصف قطر هوائي قطع مكافئ عاكس إذا علمت ان التردد المستخدم يساوي GHz 6 والكسب المطلوب تحقيقه يساوي 10dB ؟
- س51) ما نصف قطر هوائي قطع مكافئ عاكس لذا علمت لن للتردد المستخدم يماوي 10dB ؟
 - س 52) ما هو كسب هوائي قطره m 20 يعمل مع K-Band ؟
 - س53) ما هو كسب هوائي قطره m 20 يعمل مع C-Band ؟
 - س54) ما هو كسب هوائي قطره m و 20 سعمل مع KU-Band?
- س55) ما هو قطر الهوائي الذي يجب استخدامه لنحقق كسب يساوي 30dB عند العمل مع K-Band ؟
- س56) ما هو قطر الهوائي الذي يجب استخدامه لنحقق كسب يساوي 60dB عند العمل مع K-Band؟
- س57) ما هو قطر الهوائي الذي يجب استخدامه لنحقق كمب يساوي 30dB عند العمل مع C-Band ؟

س58) ما أجزاء هوائي كاسبجرين Cassegrain، وما مبدأ عمله في جهة الاستقبال وجهة الإرسال؟

س 59) ما مميزات هوائي كاسيجرين Cassegrain ؟

س60) ما أجزاء الهوائي العاكس البوقي Horn Reflector!

س 61) ما الفرق الرئيسي بين هواتيات حارف الحزمة Reflector س 61) ما الفرق الرئيسي بين هواتيات الأخرى؟

س62) هل نجد هوائيات حارف الحزمة Beam Reflector Antennas في الأراضى السهلة (المستوية)؟ لماذا؟

الوحدة الثالثة



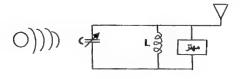
الوحدة الثالثة

تقنيات أنظمة اليكرويف ذات التعديل الترددي FM

Frequency Modulation التحيل التريدي

التعديل الترددي (FM): هو التغير في تردد الموجة الحاملة Carrier)
(Signal ذات التردد العالي تبعا للقيمة اللحظية الاتساع الموجة المحمولة (Information Signal) مع بقاء اتساع الموجة الحاملة ثابت.

وللحصول على موجة معدلة تعديل ترددي (FM)، فإننا بحاجة إلى نظام يقوم بتحويل التغير في اتساع الإشارة الداخلة إلى تغير في تردد الإشارة الخارجة (معدلة). ولهذا الغرض نستطيع استعمال الدائرة الموضحة في الشكل التألى:

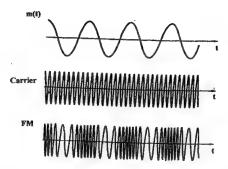


حيث يتم التحكم بتردد الموجة الموادة من المهتز بواسطة دائرة التحكم المرافقة. دائرة التحكم المرافقة. دائرة التحكم متكون، كما هو واضح في الشكل، من ملف ومكثف متغير السعة. وسعة هذا الملف تتغير بتغير اتساع الإشارة الصوتية المتوادة من الميكرفون (شدة الصوت الذي يستقبله الميكرفون). ولدينا هذا ثلاث حالات:

- في حالة عدم وجود صوت واصل الميكرفون: فإن اوحتى المكلف تبقى ثابتة ولا تتنبنب ترددات المهتز وبالتالي يكون تردد الموجة المتوادة مساوى لتردد الموجة الحاملة f.
- 2. في حالة كانت شدة الصوت الواصل الميكرفون أعلى من قيمة مرجعية معينة: فإن لوحتي المكثف تهتز تبعا الشدة الصوت مسببة تغير في قيمة المكثف وبالتالي زيادة في تردد الموجة الموادة من المهتز القيمة أعلى من تردد الموجة الحاملة، وتزداد هذه القيمة بازدياد شدة الصوت، ويساوي التردد الناتج: $f_c+\Delta f$. حيث $f_c+\Delta f$ ك تمثل الإزاحة في تردد الموجة المعدلة الناتحة.
- E. في حالة كانت شدة الصوت الواصل الميكرفون أقل من قيمة مرجعية معينة: فان لوحتى المكثف تهتز تبعا المدة الصوت مسببة تغير معاكس الحالة السابقة في قيمة المكثف وبالتالي نقصان في تردد الموجة الموادة من المهتز القيمة أقل من تردد الموجة الحاملة، وتقل هذه القيمة بنقصان شدة الصوت، ويساوي التردد الناتج: f_c - Δf . حيث Δf تمثل الإزاحة في تردد الموجة المعدلة الناتجة.

لذلك فان معدل النغير في السعة يساوي الموجة الصوتية الداخلة، ومقدار النغير في السعة يتناسب طرديا مع اتساع هذه الموجة.

وفي ما يلي توضيح بالرسم عن كيفية الحصول على الموجة المعدلة تعديل ترددي FM من الموجة المحمولة (V_m(t:



فعندما $V=V_m$ فان تردد الموجة المعتلة يساوي تردد الموجة الحالمة f_c . وعندما $V>V_m$ فان تردد الموجة المعتلة أعلى من تردد الموجة الحاملة، وعندما $V<V_m$ فان تردد الموجة المعتلة أقل من تردد الموجة الحاملة.

ولإيجاد علاقة رياضية الموجة المعدلة تعديل ترددي FM نبدأ برسمة الموجة المعدلة في الأعلى، فهي إشارة جيبية ذات اتساع ثابت مساوي لاتساع الموجة الحاملة Ve ولكننا نجهل الصيغة النهائية لزاوية هذه الإشارة ولتكن O:

$$V(t) = V_c Sin(\emptyset)$$

المعلومة المتوفرة عن الزاوية ليست مباشرة ولكننا نعلم أن السرعة الزاوية (Angle Velocity هي المشتقة الأولى الزاوية نسبة المزمن، أي أن:

 $\omega = \partial \emptyset / \partial t$ $\emptyset = \int_{0}^{\infty} \partial t$

ω=2πf in limit ω=2πf in ω=0

والتردد يتغير زيادة ونقصان حول تردد الموجة الحامل ولحد معين يتاسب مع اتساع الموجة المحمولة ويمكن التعبير عن شكل التردد اللحظي بالعلاقة للتالية:

$$f(t) = f_c + K_f Vm Cos(\omega_m)t$$

$$\omega(t) = \omega_c + 2\pi K_f Vm Cos(\omega_m)t$$

حبث:

.(Hz/Volt) ثابت التعديل الترددي ورحدته (K_f

الإشارة المحمولة. Vm $Cos(\omega_m)t$

وباشتقاق العلاقة الأخيرة نحصل على الزاوية: $Ø = \int \omega(t) \partial t$

 $-\int \omega_c + 2\pi K_f Vm Cos(\omega_m t) \partial t$

= $\omega_{\rm c}t + 2\pi K_{\rm f} V m Sin(\omega_{\rm m}t) / \omega_{\rm m}$

 $= \omega_c t + K_f \operatorname{Vm} \operatorname{Sin}(\omega_m t) / f_m$

 $\Delta f = K_f V m$ وبما أن إزاحة النزيد تساوي:

 $Ø = \omega_c t + \Delta f/f_m \sin(\omega_m t)$

وبتعويض العلاقة الأخيرة في معادلة الموجة المعدلة تعديل ترددي نحصل على العلاقة التالية:

 $V(t) = V_c Sin(\omega_c t + \Delta f/f_m Sin(\omega_m t))$ حيث معامل التعديل التريدي m_f يعطى بالعلاقة الثالية:

 $m_f = \Delta f/f_m$

أي أن معامل التعديل الترددي $m_{\rm f}$ هونمسبة انحراف التردد Δf إلى تردد الموجة المحمولة $f_{\rm m}$.

ويمكن إعادة كتابة علاقة الموجة المعدلة تعديل ترددي على النحو ... التالي:

 $V(t) = V_c \sin(\omega_c t + m_f \sin(\omega_m t))$

مثال1: إذا كان نردد الموجة المحمولة بساوي 15KHz وانحراف التردد ناموجة المعدلة تعديل نرددي FM يساوي 12KHz ، لحسب معامل التعديل.

الحل:

 $m_f = \Delta f/f_m = 12/15 = 0.75$

مثال2: احسب معامل التعديل للمثال السابق إذا كان انحراف التردد Δf يساوي Δf .

الحل:

 $m_f = \Delta f/f_m = 20/15 = 1.25$

مثال 3: موجة معدلة تعديل ترددي FM ذات العلاقة القياسية التالية:

 $V(t) = 12 \sin(10^8 t + 2 \sin(314t))$

ما قيمة انحراف التردد لهذه الموجة؟

الحل:

يجب أو لا حساب قيمة نزدد الموجة المحمولة \mathbf{f}_{m} :

 $f_m = 314/2*3.14 = 50 \text{ Hz}$

من المعادلة الأصلية يمكن معرفة قيمة معامل التعديل وبالتالي يمكن حساب فحرف التردد:

 $\Delta f = m_f * f_m = 2* 50 = 100 \text{ Hz}$

ان الإزاحة النرينية المحسوبة في الأمثلة السابقة هي الإزاحة القصوى للنريد، ويمكن قياس الإزاحة النرينية بوحدة أخرى وهي القيمة الفعالة (أو جذر متوسط المربع root mean square value)، حيث أن العلاقة بين القيمتين تعطى بالمعادلة التالية:

$$\Delta f_{rms} = \Delta f *0.707$$

وهي علاقة صحيحة للعلاقات الجبيبة.

مثال 4: موجة معلة تعديل تريدي FM ذات العلاقة القياسية التالية:

$$V(t) = 4 \sin(10^{12} t + 3 \sin(314*10^3 t))$$

ما قيمة انحراف التردد ∆f_{rms} لهذه الموجة؟

الحل:

يجب أو لا حساب قيمة تردد الموجة المحمولة \mathbf{f}_{m} :

 $f_m = 314/2*3.14*10^3 = 50 \text{ KHz}$

من المعادلة الأصلية يمكن معرفة قيمة معامل التعديل وبالتالي يمكن حساب انحراف التردد:

 $\Delta f = m_f * f_m = 3* 50 = 150 \text{K Hz}$

بتطبيق العلاقة المباشرة بين الاتحراف الأقصى والقيمة الفعالة له (RMS) يمكن حساب:

 $\Delta f_{rms} = \Delta f *0.707$ = 150 * 0.707 = 106 KHz

وعادة ما يستخدم مصطلح "الإزاحة العظمى" التعبير عن أقصى إزاحة النزيد، كما يمكن ان تعطى علاقة أخرى لحماب هذه الإزاحة العظمى وهي:

$$\Delta f = f_{max} - f_{c}$$

$$= f_{c} - f_{min}$$

$$= (f_{max} - f_{min})/2$$

حيث:

f. يمثل التردد الحامل الموجة المرسلة.
 f. يمثل أقصى تردد للموجة المعدلة.
 f. يمثل أندى تردد للموجة المعدلة.

Bessel Functions افتراتات بيسيل

معادلة الإشارة المعدلة هي علاقة جيب قيمة جيبية، وهي علاقة معدة يصعب التعامل معها وتحليلها ويصعب دراسة الطيف الترددي لها. ووجد العالم بيسيل حل لهذه العلاقة وهذا الحل هو علاقات بيسيل أو افترانات بيسيل m_f . Bessel Functions وهي علاقات متغيرة مع معامل التعديل الترددي m_f وهي ذات درجات ، أي يوجد علاقة بيسيل من الدرجة الأولى يرمز لها $J_1(m_f)$ وعلاقة بيسيل من الدرجة للثانية ويرمز لها $J_2(m_f)$ وعلاقة بيسيل من الدرجة الأالية ويرمز لها $J_2(m_f)$.

فنعبر عن علاقة الموجة المعدلة تعديل ترددي FM بعلاقات بيسيل على النحو الذالي:

$$\begin{split} V(t) &= V_c ~\{~J_0(m_f) ~Sin(\omega_c t) + ~J_1(m_f) ~[Sin(\omega_c + \omega_m)t + Sin(\omega_c - \omega_m)t] \\ &+ J_2(m_f) ~[Sin(\omega_c + 2\omega_m)t + Sin(\omega_c - 2\omega_m)t] \\ &+ J_3(m_f) ~[Sin(\omega_c + 3\omega_m)t + Sin(\omega_c - 3\omega_m)t] \\ &+ \dots + \dots + \dots \} \end{split}$$

$$V(t) = V_c \left\{ J_0(m_f) \sin(2\pi f_c t) + J_1(m_f) \left[\sin(2\pi (f_c + f_m)t) + \sin(2\pi (f_c - f_m)t) \right] + J_2(m_f) \left[\sin(2\pi (f_c + 2f_m)t) + \sin(2\pi (f_c - 2f_m)t) \right] \right\}$$

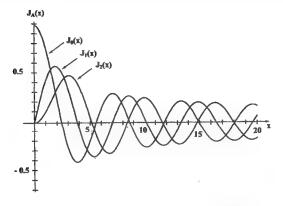
$$+ J_3(m_f) \left[Sin(2\pi (f_c + 3f_m)t) + Sin(2\pi (f_c - 3f_m)t) \right]$$

$$+ + + \}$$

أو يمكن إعادة كتابة علاقة الموجة المعتلة تعديل ترددي على النحو التالي:

$$V(t) = V_c \sum J_n(m_f) \, Sin(2\pi (f_c \pm n f_m) t) \label{eq:velocity}$$

و لأخذ فكرة عن الشكل العام للطيف الترددي لهذه الموجة المعدلة تعديل ترددي FM، فلا بد في البداية من توضيح بعض خصائص علاقات بيسيل المرتبطة بدر استنا. وعلاقات بيسيل تأخذ الشكل التالي:



والجدول التالي ببين قيمة اقترانات بيسيل لقيم مختلفة من معامل التحديل الترددي m_f :

n\m _f	0.1	0.2	0.5	1	2	5	8	10
0	0.997	0.990	0.938	0.765	0.224	-0.178	0.172	-0.246
1	0.050	0.100	0.242	0.440	0.577	-0.328	0.235	0.043
. 2	0.001	0.005	0.031	0.115	0.353	0.047	-0.113	0.255
3			0.003	0.020	0.129	0.365	-0.291	0.058
4				0.002	0.034	0.391	-0.105	-0.220
2+5					0.007	0.261	0.286	-0.234
6					0.001	0.131	0.338	-0.014
7		1				0.053	0.321	0.217
8						0.018	0.224	0.318
9						0.006	0.126	0.292
10					1	0.001	0.061	0.208
11					Ì		0.026	0.123
12							0.010	0.063
13			[}		į .	0.003	0.029
14							0.001	0.012
15								0.005
16	i .]	0.002

نالحظ من الشكل السابق أن:

- في علاقة ببسيل ذات الدرجة المعينة نقل قيمة الاقتران بازدياد معامل التعديل الترددي m, أي أن العلاقة عكمية بين اقتران بيسيل ومعامل التعديل الترددي بتثبيت درجة الاقتران.
 - بنتبيت معامل التعديل m_f ومقارنة الإفترانات ذات الدرجات المختلفة نلاحظ أن قيمة الافتران ذو الدرجة الأعلى تكون أقل من قيمة الإفتران ذو الدرجة الأقل، أي:

$$J_{n+1}(m_f) \le J_n(m_f)$$

- $J_0(0)=1$ عندما يساوي $m_f=0$ فان القيمة الوحيدة الاقتران بيسيل هي $m_f=0$ و هي أعلى قيمة الاقتران بيسيل، أما باقي اقترانات بيسيل عند نفس قيمة معامل التعديل تساوي $J_{m_f}(0)=0$
 - عند قيمة معامل تعديل m_f ثابتة فان:

$$J_0^2 + 2 J_1^2 + 2 J_2^2 + 2 J_3^2 + ... + ... = 1$$

 إن اقترانات بيسيل تأخذ قيم موجبة أو سالبة. ومعنى القيم السالبة حدوث فرق في الطور بمقدار 180 درجة.

وبالنسبة لعلاقة الموجة المعدلة فان:

Jo: تمثل قيمة الاتساع القياسي للموجة المعدلة.

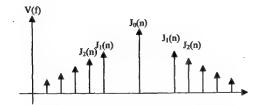
J: تمثل قيمة الاتساع النسبي لزوج الحزمتين الأول.

J₂: تمثل قيمة الانساع النسبي لزوج الحزمتين الثاني.

J₃: تمثل قيمة الانساع النسبي لزوج الحزمتين الثالث و هكذا.

وبالتألى فالاتساع النمبي للحزم الجانبية الموجة المعدلة يقل بازدياد درجة القران بيسيل n أو بمعنى آخر بازدياد درجة الحزمة الجانبية ومن معد لا نهائي من معادلة الموجة المعدلة نلاحظ أن الطيف الترددي يتكون من عدد لا نهائي من الحزم الجانبية ذات الترددات $f_c + 3 f_m$, $f_c + 2 f_m$, $f_c + f_m$ مثال $f_c + n f_m$ المحمولة المحمولة وأن تردد الموجة الحاملة يحمل قيمة تساوي f_c , وشكل الطيف f_c . وأن تردد الموجة الحاملة يحمل قيمة تساوي $V_c J_0(m_f)$, وشكل الطيف الترددي متناظر حول تردد الموجة الحاملة f_c .

وبالنالي نتوقع شكل الطيف التربدي للموجة المعدلة تعديل تربدي FM على النحو التالي:



ويما أن الاتساع النصبي للحزم الجانبية يقل بازدياد الدرجة فيمكننا بالنقريب إهمال الحزم الجانبية ذات الدرجة الكبيرة والاتساع النسبي القليل.

عرض النطاق (BW) عرض النطاق

عرض نطاق الموجة المعدلة يعتمد على عدد الحزم الجانبية الفعالة ذات الاتساعات النسبية الكبيرة. وعدد هذه الحزم الجانبية بتغير بتغير معامل التعديل الترددي m. عرض النطاق يساوي:

 $BW = numbers of side bands * f_m$ $= 2 * n* f_m$

حبث n أعلى درجة لاقترانات بيسيل.

 $(f_c\text{-}\Delta f \cdot \Delta f + f_c)$ هو بين FM هو المعدلة المعدلة الموجة المعدلة

نلاحظ أن عرض النطاق الموجة المعدلة تعديل ترددي FM يعتمد على تردد الموجة المحمولة وعلى على تردد الموجة المحمولة وعلى معامل التعديل بشكل غير مباشر فبزيادة معامل التعديل يزداد عدد الحزم الجانبية وبالتالى يزداد عرض النطاق.

مثال $f_{\rm m}=20{
m KHz}$ ، وانحراف التردد الموجة المحدلة 40 ${
m KHz}$ ، المطلوب لإرسال الموجة المحدلة ${
m FM}$. ${
m SFM}$ ، فما عرض النطاق (BW) المطلوب لإرسال الموجة المحدلة ${
m FM}$?

$$m_f = \Delta f/f_m = 40/20 = 2$$

ومن الجدول نجد أن عدد الحزم الجانبية لمعامل النردد هذا هو 4 : number of side bands = 2*4=8

BW = number of side bands * f_m =8*20 = 160KHz

مثال2: محطة FM نَبِث موجات صونية ذلت مدى ترددي - 100Hz - مثال2: محطة Abara نبث معامل التعديل المسموح به لهذه المحطة، مع العلم أن أقصى انحراف تردد لمحطة FM هو 75KHz.

الحل:

$$m_{fl} = \Delta f/f_{m1} = 75000/100 = 750$$

$$m_{f2} = \Delta f/f_{m21} = 75/20 = 3.75$$
 (3.75 - 750) وبالتالى فان مدى التعديل الترددى هو

وفي ما يلي دراسة لأربعة حالات النصيل النريدي FM نوضح تأثير نسبة التعديل على الحزم الجانبية الموجة المسلة تعديل ترددي FM (أربعة قيم مختلفة لمعامل التحديل وهي: 4 , 2.4 , 1 , 2.0 وعدد الحزم الجانبية وعرض النطاق والحليف الترددي لكل حالة، وعلى سبيل المثال يفرض أن تردد الموجة المحمولة MHz وتردد الموجة الحاملة يساوي MHz وتردد الموجة الحاملة المتاع الموجة المحمولة V 10 mV بسبب إزاحة التردد الموجة الحاملة الاتساع (400KHz المساوي: Amplitude

Deviation/amplitude= $\Delta f/A=400$ KHz/ 10mV = 40 KHz/mV : وعندما يكون اتساع الموجة المحمولة = 0 فان الإزاحة تساوي $\Delta f=\Delta f/A*A$

= 40 KHz/mV * 0 = 0

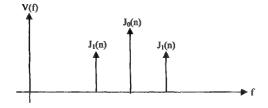
وبالتالي فان تردد الموجة المعدلة بساوي تردد الموجة الحاملة فقط (والذي يساوي MHz). ولا يتكون الطيف الترددي إلا من النبضة الراجعة للتردد الحامل دون أي اثر لحزم جانبية.

الحالة الأولى:

إذا كان اتساع الموجة المحمولة يساوي 5 mV فان الإزاحة تساوى:

 $\Delta f = \Delta f/A * A$ = 40 KHz/mV * 5mV
= 200 KHz
: وبالتالي فان معامل التعديل التريدي يساوي $m_f = \Delta f / f_m$ = 200 KHz/ 1000 KHz

وهي قيمة قليلة، ومن العلاقة بين معامل التعديل وعدد الحزم الجانبية التي تحكمها اقترانات بيسيل فان عدد الحزم الجانبية يساوي 1، والطيف الترددي يكون على النحو التالى:



وان عرض النطاق للموجة المعدلة يساوي: $BW = numbers \ of \ side \ bands * f_m$

 $= 2 * n* f_m$ = 2 *1 * 1MHz = 2 MHz

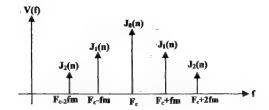
الحالة الثانية:

إذا كان اتساع الموجة المحمولة يساوي 25 mV فإن الازاحة تساوى:

 $\Delta f = \Delta f/A * A$ = 40 KHz/mV * 25mV
= 1000 KHz
: وبالتالي فان معامل التعديل الترددي يساوي $m_f = \Delta f / f_m$ = 1000 KHz/ 1000 KHz.

ومن العلاقة بين معامل التعديل وعدد الدزم الجانبية التي تحكمها اقترانات بيسيل فان عدد الدزم الجانبية يساوي 2، وان عرض النطاق الموجة المعدلة يساوى:

BW = numbers of side bands * f_m = 2 * n* f_m = 2 * 2 * 1MHz = 4 MHz



المالة الثالثة:

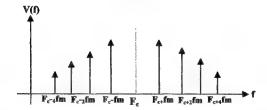
إذا كان اتساع الموجة المحمولة يساوي 60 mV فان الازاحة تساوى:

 $\Delta f = \Delta f/A * A$ = 40 KHz/mV * 60mV
= 2400 KHz
: وبالتالي فان معامل التعديل الترددي يساوي: $m_f = \Delta f / f_m$ = 2400 KHz/ 1000 KHz
= 2.4

ومن العلاقة بين معامل التعديل وعدد الحزم الجانبية التي تحكمها اقترانات بيسيل فان عدد الحزم الجانبية المؤثرة يساوي 4، والملاحظ ان قيمة القتران بيسيل J_0 الذي تمثل قيمة الاتساع القياسي الموجة المعدلة) يسلوي 0 عندما يكون معامل التعديل 2.4 ، وبالتالي يختفي الوميض عند التردد الحامل f_c في الطيف الترددي الموجة المعدلة بالرغم من وجود الحزم الجانبية.

وهذه حالة مهمة وتسمى أول قيمة صفرية للحامل First Carrier . وهذه حالة مهمة وتسمى أول قيمة صفرية للحامل . FM .

gوان عرض النطاق للموجة المعدلة يساوي: g BW = numbers of side bands * f_m = 2 * n * f_m = 2 * 4 * 1MHz = 8 MHz



الحالة الرابعة:

إذا كان اتساع الموجة المحمولة يساوي mV 100 mV فان الإزاحة تساوى:

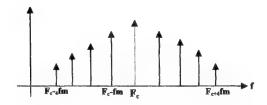
$$\Delta f = \Delta f/A * A$$
= 40 KHz/mV * 100mV
= 4000 KHz
وبالتالي فان معامل التعديل التربدي يساوي:
 $m_f = \Delta f / f_m$
= 4000 KHz/ 1000 KHz

ومن العلاقة بين معامل التعديل وعدد الحزم الجانبية التي تحكمها اقترانات بيسيل فان عدد الحزم الجانبية يساوي 4، وان عرض النطاق الموجة المعدلة يساوي:

BW = numbers of side bands * f_m = 2 * n* f_m = 2 *4 * 1MHz = 8 MHz

والملاحظ ان قيمة اقتران بيميل (10 الذي تمثل قيمة الاتساع القياسي الموجة المعدلة) أخنت قيمة غير صفرية في هذه الحالة بخلاف الحالة السابقة ، وبالتالي يظهر الوميض عند التزدد الحامل f في الطيف الترددي الموجة المعدلة بالإضافة إلى وجود الحزم الجانبية.

والطيف الترددي يكون على النحو التالى:



وفي التعديل الترددي لموجة معقدة (موجة مكونة من عدة ترددات f_{m1} ، f_{m2} ، f_{m3} ، f_{m2} ، f_{m3} ، f_{m2})، ففي هذه الحالة فان أزواج الحزم الجانبية الناتجة ستكون مختلفة عن الحالات الذي تم مناقشتها سابقًا. حيث أن الحزم الجانبية الناتجة موف تحتوي على:

1. الحزم الجانبية الناتجة عن التعديل الترددي لكل تردد على حدة.

...... $f_c \pm n f_{m1}$; $f_c \pm n f_{m2}$; $f_c \pm n f_{m3}$;

 الحزم الجانبية الناتجة عن تجميع الترددات مع بعضها البعض، والتي يمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية:

 $f_c \pm n_1 f_{m1c} \pm n_2 f_{m2} \pm n_3 f_{m3} \pm ...$

حيث n تمثل أي عدد صحيح. وبالتالي يمكن اعتبار الحزم الجانبية في الفقرة النقطة الأولى موجودة ضمنيا في هذه العلاقة عندما تأخذ n قيم صفرية.

2-3 المعدلات الترديية Modulators

يوجد طريقتين لعملية التعديل الترددي (مباشرة وغير مباشرة). بالنسبة للطريقة المباشرة فالمبدأ فيها توفير دائرة تحول التغير في تردد الإشارة الداخلة إلى تغير في الفوائية الخارجة. والدائرة التي تعمل هذا العمل هي مهتز يتم التحكم بتردده بواسطة فولئية (Voltage Control Oscillator (VCO) ولتحقيق هذا الغرض يستخدم غالبا مهتز Toscillator عالمي الثبونية والذي يسبب مشكلة المرسلات التي تستخدم الطريقة المباشرة وهي انه لا يمكن المحصول على التردد الحامل f بواسطته وبالتالي يجب إضافة أجهزة ذات الردد عالى الثبونية من مهتز كريستالي Crystal Oscillator.

والمخطط الصندوقي التالي يوضح الطريقة المباشرة التعديل الترددي FM:



أما الطريقة غير المباشرة فهي تعتمد على الحصول على موجة معدلة تعديل ترددي ذو نطاق ضيق (Narrow Band FM (NBFM)، وفي مرحلة تالية يتم إزاحة هذه الموجة المعدلة إلى ترددات أعلى بواسطة ضارب (أو مازج للإشارة) لتحميل الإشارة على التردد المطلوب.

والمخطط الصندوقي التالي يوضح الطريقة غير المباشرة التعديل الترددي FM:



LPF بداية ثمر الموجة المحمولة على مصفى تمرير الحزمة المنخفضة LPF والذي يحدد تردد الموجة بتردد القطع للمصفى لضمان عدم مرور أية إشارات غير مرغوبة ترددها أعلى من تردد الإشارة الأصلية. ثم تمر الموجة على المعدل الترددي الموصول بمهتز كريستالي عالي التردد (70 MHz) وان كان غير كافي لتوليد الموجات الميكروية، فتكون الإشارة الناتجة من المعدل غير كافي لتوليد الموجات الميكروية، فتكون الإشارة الناتجة من المعدل المرحلة تكون صغيرة وبالتالي التشويه الناتج يكون قليل.

ثم يقوم المازج يرفع نردد إشارة NBFM وإزاحته إلى التردد الميكروي المطلوب أي الحصول على موجة معدلة تعديل ترددي واسع النطاق Wide Band FM (WBFM) ويقوم المصفى الأخير بتمرير الموجة ذات المرغوبة من بين الترددات الداتجة بعد المازج.

3-3 المعلات العكسية التربيبة 3-3

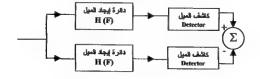
الغرض من المعدلات العكسية استخلاص الإشارة المحمولة من الإشارة المعدلة FM .أي أننا نحتاج لهذا الغرض إلى دائرة تحول التغير في النردد إلى تغير مقابل في الفولتية وتسمى هذه الدائرة "المميز" (Discriminator) والتي تتكون أساسا من دائرة إيجاد ميل (Derivation) الإشارة المعدلة ومن ثم الكثيف عن هذا الميل الذي يشكل الإشارة المحمولة (Envelope Detector). ولكن الإشارة المعدلة FM تتعرض إلى التنبنب في الاتساع أثناء عملية الإرسال، ويجب التخلص أو لا من هذا التنبنب قبل إيخال الإشارة المعدلة إلى المميز. والدائرة المعرولة عن ذلك تدعى "المحدد" (Limiter) . وأهم الدوائر المستخدمة لهذا الغرض هي دائرة Foster-Sealy الذي يعطي علاقة أكثر خطية ولكن يجب أن يسبق بمحدد انساع، وكاشف النسبة Ratio-Detector التي تتكون من الكاشف والمحدد.

ان الدوائر الأساسية المستخدمة للتحديل العكسي الترددي هي:

1. مميز التريد Discriminator

2. المعدل العكسي PLL باستخدام التغنية الخلفية PLL.

ويمكن رسم المخطط الصندوقي لدائرة مميز التردد على النحو التالي:



حيث يتكون من دائرتي ليجاد ميل(slope) الإشارة المعدلة FM ثم الإشارة الناتجة على كاشف الغطاء (Envelope Detector) الذي يستخلص الإشارة المطلوبة التي أصبحت تمثل اتساع (غطاء) الإشارة المشتقة بواسطة دائرة الميل. وتسمى هذه الخطة "مميز التردد المتوازن". وبالمعادلات الرياضية يمكن توضيح طريقة عمل هذه الخطة، فالإشارة المعدلة تعديل ترددي لها العلاقة التالية:

$$V(t) = V_c \sin(\omega_c t + \Delta f/f_m \sin(\omega_m t))$$

وبتمرير هذه الإشارة على دائرة الميل. نحصل علة مشققة هذه العلاقة على النحو التالى:

$$V_d(t) = V_c * (\omega_c + \Delta f^* 2^* \pi \sin(\omega_m t))^* \cos(\omega_c t + \Delta f / f_m \sin(\omega_m t))$$

ومن الواضح أن اتساع العلاقة الأخيرة بمثل الموجة المحمولة المراد استرجمها والتي تشكل غطاء الموجة الجبيبة، وبالتالي يمكن الحصول عليها بواسطة دائرة كشاف الغطاء Envelope Detector ، فنحصل على الإشارة:

$$V_{\text{d}}(t) = V_{\text{c}} \left(\omega \text{c} + \Delta f^* 2^* \pi \; \text{Sin}(\omega_{\text{m}} t)\right)$$

ويمكن التخلص من الجزء DC في الإثنارة باستخدام مكثف Blocking Capacitor.

و مميز التردد المتوازن له عدة أنواع منها:

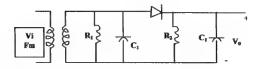
أ. كاشف الميل Slope Detector

ب. كاشف النسبة (المعدل العكسى من نوع Travis).

ج. مميز Foster-Sealy

1-3-3 كاشف الميل Slope Detector

ونتكون دائرة كاشف الميل كما هو موضح في الشكل التالي:



حيث يسبب الاختلاف في التردد للإثمارة المعدلة FM إلى اختلاف في السماع الإثمارة الخارجة من كاشف النسبة. وتتلخص طريقة عمل هذه الدائرة بالنقاط التالية:

- Single المستخدم كاشف النصبة Slope Detector دائرة توليف واحدة f_c مثلا لو Tuned Circuit والتي لها تردد يميل قليلا عن التردد الحامل f_c مثلا لو كان التردد الحامل يساوي $10.7 \mathrm{MHz}$ فان تردد الرنين Frequency يولف ليكون f_c 10.8 f_c
- عندما يكون النردد الدلخل مساويا للتردد الحامل f_c فان الفولتية الناتجة تكون مساوية لنصف أقصى فولتية محتملة من الدائرة.
- 3. عندما يزيد تردد الإشارة المعدلة عن التردد الحامل f_c بمقدار (Δf_c) فان تردد الإشارة يتحرك إلى الأعلى على منحنى الاستجابة مسببا زيادة في الغولتية على المخرج. عندما يقل تردد الإشارة المعدلة عن التردد الحامل f_c بمقدار (Δf_c) فان تردد الإشارة يتحرك إلى الأسفل على منحنى الاستجابة مسببا نقصان في الغولتية على المخرج.

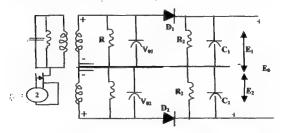
4. ان الإشارة الناتجة في النهاية لا زالت معدلة تردديا ولكن اتساعها يتغير تبعا للقيمة اللحظية للإشارة المحمولة والتي يتم الكشف عنها بكاشف الغطاء Envelope Detector المتكون من الوصلة الثائية Diode ومصفى تمرير الترددات المنخفضة (RC Circuit).

ان المعدل العكسي من نوع كاشف الميل Slope Detector بميط التصميم وقليل التكلفة، ولكن الميئة الرئيمية فيه هي الخاصية عدم الخطية Non-Linearity، حيث ان منطقة صغيرة من منحنى الاستجابة ذات خصائص خطية، وذلك يسبب تشويه Distortion كبير في الإشارة الخارجة.

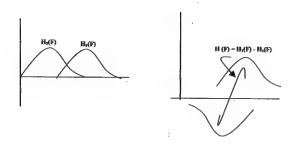
ويمكن تحسين وتطوير عمل هذه الدائرة بإيجاد دائرة ذات خاصية خطية أكبر، كما في المعدل العكسي من نوع Travis.

3-3-1-ب المعدل العكسي من نوع Travis

نتكون دائرة المعدل العكسي Travis كما هو موضح في الشكل التالي:



لن الخصائص الانتقالية Transfer Function المعدل العكسي Transfer Function خطية وذات حساسية عالية موضحة بالشكل النالي:



ان مبدأ العمل يعتمد على دائرتي رنين Resonance Frequency ، ونولف الثانية على تردد أقل تولف الأولى على تردد أعلى من التردد الحامل f_c ونولف الثانية على تردد أقل من التردد الحامل f_c من التردد الحامل f_c فان الفولتية الناتجة تكون متساوية للصفر، حيث أن كل من الوصلتين D2 و D2 تكونان في حالة التوصيل مساوية للصفر، حيث أن كل من الوصلتين D2 و D2 تكونان في حالة التوصيل بالتساوي وبالتالي الفولتية على كل من المقاومتين D3 و D3 تكون متساوية في المقدار ولكن متعاكسة (فرق طور D3 الاحرجة) وبالتالي تلغي كل منهما الأخرى.

وعندما يكون التردد الداخل أعلى من التردد الحامل بقيمة عن التردد الحامل بقيمة عن التردد الحامل f_c بمقدار (Δf_c) فان الكسب يزداد وتوصيل D1 يزداد مسببا زيادة في الفوانية E1 وتوصيل D2 يقل مسببا نقصان في القوانية E2 وينتج فرق بسيط في الفولنية موجب القطبية. عندما يقل تردد الإشارة المعدلة عن التردد الحامل f_c بمقدار (Δf_c) فان الوصلة D2 فعالة لكثر وبالتالي E2 تكون أكبر من E1 في هذه الحالة وينتج فرق في الفوانية (Δf_c) سالب القطبية.

ان الخصائص المركبة الناتجة (منعنى الاستجابة) تكون خطية على ﴿ نَطَاقَ أُوسِع . نَطَاقَ أُوسِع .

ان المعدل العكسي Travis غير مختلف عن غيره من أنواع المعدلات الترددية العكسية الأخرى من حيث التكلفة والتعقيد. كما أن هذه الأتواع تشترك بصفة واحدة وهي حساسيتها التنبنب في اتساع الموجة الحاملة أو التنبنب في الماور Phase.

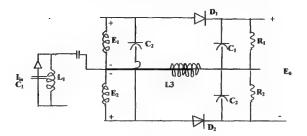
ان التنبنب في اتماع الموجة المعدلة بحدث الأسباب مختلفة خلال انتقال الموجة من المرسل إلى المستقبل عبر الهواء، كالظروف الجوية وتعرض الموجة التصاريس المختلفة، وتمسب هذا التنبنب في دائرة المعدل العكسي الذي لا يستطيع التمييز الذكي بين التغير بالتردد أو التغير في الاتماع، لذلك يجب ان يسبق المميز دائرة المحدد Limiters التخلص من هذه الذبنبات أو لا.

ان الإشارة الناتجة من المميز تكون مشوهة نتيجة عدة أسباب هي:

- ان الطبف التردد للموجة المعدلة تعديل ترددي FM مكون من عدد كبير من الحزم الجانبية وليس من الحزم الفعالة التي يتم حساب عرض النطاق على أساسها، فالاتساع النسبي لتلك الحزم لا يساوي صفرا خارج حدود النطاق المحسوب والمحدد بين القيمتين (f_c+BW/2, f_c-BW/2).
 - ان نائج مصغیات التولیف لیست محددة النطاق بشکل دفیق واذلك بنتج تشویه من مصفى تمریر الحزمة المنخفضة المكون من مقاومة ومكثف (RC).
 - ان الخصائص الانتقالية المصفى المولد ليست خطية على الدوام وإنما منطقة محددة فقط من حزمة التريدات لها الطبيعة الخطية.

1-3-3 نميز Foster - Sealy

تمثل الدائرة التالية مميز فوستر -سيلي foster-Sealy:



حيث دائرتي LC وL1+L2) تولف بالضبط على النردد الحامل E2 و E2 للإشارة والفولتية E3 مطبقة على الملف L3. وكل من الفولتيتين E1 و E2 متساويتان ولكن بينهما فرق طور 180 درجة.

وفي حالة الرنين Resonance حيث يكون التردد الداخل مستويا التردد الحامل فان فولتية المخرج Eo تساوي صفر. وعندما يكون التردد الداخل أعلى من التردد الحامل بمقدار $(+\Delta f_+)$ فان الكسب يزداد وتوصيل D1 يزداد مسببا في النهاية ان فولتية المخرج Eo تأخذ قيم موجبة. وعندما يقل تردد الإشارة المعدلة عن التردد الحامل f_+ بمقدار $(-\Delta f_-)$ فان الوصلة D2 فعالة اكثر مسببا في النهاية ان فولتية المخرج Eo تأخذ قيم سالبة.

التأثير العام لهذا المميز كان باستبدال فولتية DC على المخرج ذات قيمة متغيرة تتناسب مع التغير في النرند المزاح عن النرند الحامل للإشارة. (كلما لزدانت الإزاحة (Δf_c) كلما لزدانت Vdc+، وكلما قلت الإزاحة المالبة تؤدي إلى فولتية سالبة).

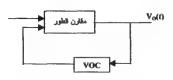
2-3-3 المعدل العكميي PLL باستخدام التغلية الخلفية على PLL

لن دائرة (Phase Locked Loop (PLL هي دائرة تغنية خلفية سالبة ...

Negative Feed Back تستخدم لعكس تعديل موجة المعدلة تردديا FM. ...

وتعمل دائرة التغذية الخلفية على تقليل قيمة الخطأ Error Term إلى الصغر (المقصود بقيمة الخطأ الغرق في الطور بين الإشارة الدلخلة والإشارة المرجعية . (Reference).

والمخطط الصندوقي العام لدائرة PLL موضحة في الشكل التالي: معدة

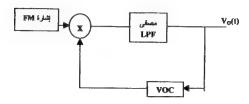


ان الحلقة Loop تقارن بين طور الإشارة المعطة تردديا FM وبين طور الإشارة المعطة تردديا Phase طور الإشارة الخارجة من المهنز VCO. وإذا كان الفرق في الطور Shift أي قيمة غير صفرية فان التردد الخارج من VCO بأسلوب يدفع الفرق التالى إلى الصفر.

ومخرج مقارن الطور Phase Comparator يشكل مدخل VCO ومخرج معارة عن إشارة معدلة تزدييا FM ينتاسب التردد اللحظي لها مع فرق الطور بين الإشارة الداخلة ومخرج VCO.

ان التغير المستمر للإثمارة على مدخل VCO ينتج موجة معبلة تعديل : عكسي Demodulated Signal من الموجة المعدلة تردديا FM. ان الحلقة تكون في حالة قفل"Lock " عندما تكون كل من الإشارة الداخلة المعدلة FM والشارة مخرج VCO متساويتي التردد ولكن بفرق طور 90 درجة.

وباستخدام مقارن لفرق الطور مكون من ضارب متبوع بمصفى تمرير حزمة منخفضة (Low Pass Filter (LPF) (ويسمى مصفى المحلقة Loop) Filter) تصبح دائرة المعدل العكسي كما هو موضح في المخطط الصندوقي التالى:



ان المكونات الأساسية لهذا المعدل العكسي هي:

- 1. ضارب Multiplier.
- 2. مصفى حلقى Loop Filter
- .Voltage Control Oscillator (VCO) .3
- ان الفقد Losses في هذه الدائرة يعتمد على مصفى الحلقة.

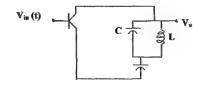
4-3 المحددات Limiters

المحدد Limiter هو الدائرة التي تسبق المميز في المعدل الترددي العكسى والممدولة عن التخاص من التنبذبات في انساع الموجة المعدلة FM

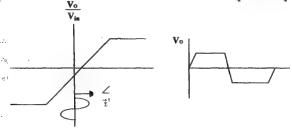
قبل إدخالها إلى دائرة المميز Discriminator. ويمكن ان يتكون المحدد من الوصلة الثنائية أومن ترانزيستور يكبر الإشارة الدلخلة وثم دائرة توليف .. للتخاص من المضاعفات كما في الدائرة التالي:

Ŀ

Ę



والخصائص الانتقالية Transfer Function H(f) المحدد موضحة في الشكل الثالي:



ان الإشارة الناتجة من المحدد ذات تردد مختلف عن تردد الإشارة الأصلية (كل من التردد الأصلي ومضاعفاته Harmonics) لأن التر انزيستور لا يعمل في المنطقة الخطية، واذلك يليه دائرة توليف عند الجامع Collector للتريد المطلوب. ويمكن الحصول على محدد قوي Hard Limiter باستعمال وصلتين Diodes على التوازي Parallel ولكن متعاكستين وبذلك يمكن التخلص من التنبذبات البسيطة في الاتساع.

5-3 تأثير التشويش على أنظمة التعيل التريدي Noise Effect

في التعديل الترددي FM يتم تحميل موجة حزمة النطاق الأساسي في تردد الموجة المعدلة وليس في انتساعها كما التعديل السعوي AM ، وان تغير القيمة اللحظية للموجة الحاملة ولا يؤثر فقط في تردد الموجة الحاملة ولا يؤثر في انساعها. ولذلك فان التغير في انساع الموجة المعدلة ينتج عن التشويش فقط. ويمكن التخلص من التنبنبات في الإشارة بواسطة المحددات Limiters في الإشارة بواسطة المحددات في الإشارة بواسطة المحددات في الإشارة بواسطة المحددات في الإشارة بواسطة المحددات المحددات في الإشارة بواسطة المحددات المعددات في المرحلة المابقة لدائرة المميز.

وعندما تكون نسبة قدرة الإشارة إلى التشويش فان التشويش لا يكون له
تأثير. وبالرغم من ان عرض النطاق BW للموجة المعدلة تردديا اكبر من
عرض النطاق الموجة المعدلة معويا إلا ان تأثير التشويش الأبيض White في
حالة FM أقل من تأثيره في حالة AM.

ولكن بزيادة عرض النطاق يزداد التشويش الأبيض ويمكن ان يتسبب في عطل وانقطاع الاتصال وهبوط في أداء النظام، ويمكن الحد من هذه المشكلة بنقليل عرض النطاق BW والذي ينتاسب طرديا مع معامل التعديل الترددي وفقا لعلاقة كارسون:

 $BW = 2f_m(1+m_f)$

6-3 دو اثر التأكيد السابق Pre-emphasis و التأكيد اللاحق De-emphasis

ان للإشارات الصوتية Audio Signal خاصية هامة ومؤثرة، وهي أن ، قدرة Power الترددات المنخفضة عالية بشكل كبير مقارنة مع قدرة الترددات العالية. فتردد الإشارات الصوتية (الكلامية) محدود نسبة لترددات الإشارة الموسيقية ومع ذلك فان قدرة الترددات فوق 3KHz نكون قليلة. كذلك الحال مع ترددات الإشارات الموسيقية حيث تكون قدرة الإشارة الموسيقية ذات التردد المنخفض عالية بينما قدرة الإشارة الموسيقية ذات التردد العالي نكون قليلة على. الرغم من أن مدى الإشارة الموسيقية Music أكبر من مدى الترددات للإشارة الصوسيقية السودنية الموسيقية الموسيقية

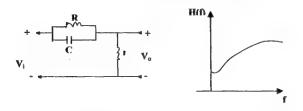
وبالتالي عند تحميل الإثنارة الصوتية Audio signal على التردد الميكروي العالي (تعديل الإثنارة Modulation) فان مكونات الطيف الترددي الأقرب إلى التردد الحامل يكون لها قدرة عالية، وتتخفض قدرة مكونات الطيف Spectrum للإثنارة المحلة كلما ابتعدت عن التردد الميكروي (وذلك واضح من قيم اقترانات بيسيل التي تمثل الاتصاع النمبي لمكونات الطيف الترددي للموجة المعدلة FM، حيث تتخفض قيمة الاقتران بانخفاض درجته).

من جهة أخرى، فإن التشويش الأبيض White Noise بوجد في جميع الترددات وبنفس المستوى سواء في الترددات العالية أو الترددات المنخفضة. وبالنالي فإن قيمة نسبة قدرة الإشارة إلى قدرة الضجيج (S/N) في مكونات الطيف الترددي القريبة من التردد الميكروي الحامل للإشارة الصونية أكبر من قيمتها في الترددات البعيدة عن ذلك التردد الميكروي.

بعد التعرف على هذه الخاصية الموجة الصوتية، السؤال الذي يطرح نفسه: كيف يمكن تحسين أداء performance انظمة FM ؟ أو بكلمات أخرى كيف يمكن الاستفادة من خاصية إشارة الضجيج وخاصية الإشارة المسموعة لزيادة نسبة قدرة الإشارة إلى قدرة الضجيج Signal to Noise Ratio الإثنارة إلى قدرة الضجيج (SNR) ؟

De- و التأكيد اللحق Pre-emphasis و التأكيد اللحق - De- و التأكيد اللحق - De- و التأكيد اللاحق - emphasis . و بتوضيح ماهية هائين الدائرتين يتضح كيف بتم تحسين الأداء.

دائرة التأكيد السابق عبارة عن مصفى ذو طبيعة عمل معينة، حيث يقوم
بتكبير الإشارة ذات الترددات العالية فهو يعمل كمصفى تعرير الحزم الترددية
العالية HPF وفي نفس الوقت يسمح بمرور الترددات المنخفضة بدون أن تكبر.
والشكل التالي يوضح مكونات دائرة التأكيد السابق Pre- Emphasis
والخصائص الانتقالية Transfer Function لها:



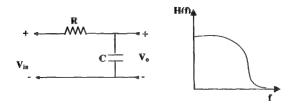
وبإدخال الموجة المعدلة FM في المرسلة Transmitter على دائرة التأكيد اللاحق Pre-emphasis قبل إرسالها فان ذلك يزيد من قدرة مكونات الطيف الترددي البعيدة عن الحامل (دون التأثير السلبي على مكونات الطيف القريبة من الحامل). وبزيادة قدرة الإشارة S فان النسبة SNR تزيد، أي ان أداء النظام يتحسن. وينتاسب الكسب لهذه الدائرة طرديا مع مربع التردد (G α).

ومن الجهة الأخرى، أي المستقبلة Receiver، لا بد من معادلة Equalization تأثير مصفى التأكيد السابق التي أضيفت في المرسلة. وتتم هذه المعادلة بإضافة دائرة التأكيد اللاحق De-Emphasis التي لها خواص انتقالية مكافئة لمقلوب الخواص الانتقالية لدائرة التأكيد السابق،أي أن:

$$H_d(f) = 1/H_p(f)$$

ومن ذلك يمكن الاستتاج ان دائرة التأكيد اللاحق تعمل كمصفى تمرير الحزمة الترددية المنخفضة LPF لتعادل التغيير الذي سببه مصفى التأكيد السابق و اخفض التشويش Noise. ويتناسب الكسب لهذه الدائرة عكسيا مع مربع النزدد (Gα1/f²).

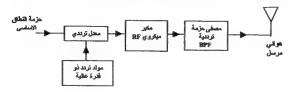
ومثال بسيط لدائرة التأكيد اللاحق والخواص الانتقالية لها موضح في الشكل التالي:



7-3 المستقبلات Receivers

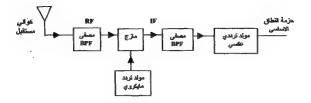
ان عمل المرسلة Transmitter يتلخص بتحويل الإشارة الفيزيائية المرسلة (صوت، صورة،....) إلى إشارة كهريائية (ذات التردد المنخفض، أو ذات حزمة النطاق الأساسي)، وتحميل هذه الإشارة على تردد حامل عالى بأحد Amplification وتمرر على عدة مراحل نكبير Modulation

قبل إرسالها عبر الهوائي الذي يحول الإشارة المعدلة Modulated Signal ذات التردد العالي إلى موجة كهرومغناطيسية تتنقل عبر الهواء أو الفراغ (الرسط الناقل). والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي Frequency Modulation FM:



وتتنقل الموجة خلال الوسط الناقل لها وتتعرض خلال انتقالها إلى التوهين وإضافة إشارة الضجيج وغيرها من العوامل الذي تسبب الخسارات فيها إلى حين وصولها إلى الجهة الأخرى من نظام الاتصال Communication ... System

ولتتم عملية الاتصال بشكل ناجح (أي إتمام عملية نقل المعلومة ووصولها بشكل واضح)، فعلى المستقبلة التقاط الموجة الكهرومغناطيسية وتكبيرها إلى المستوى المطلوب، وتحويلها إلى إشارة كهريائية معدلة مطابقة (أو مشابهة) لتلك التي كانت في المرسلة، ومن ثم استخلاص حزمة النطاق الأساسي (الموجة المحمولة) من الموجة المعدلة ذات التردد العالي (أي عكس عملية التعديل التي نمت في المرسلة "عملية التعديل العكسيDe-Modulation" وفي المرسلة تحويل الإثمارة الكهربائية إلى الإشارة الفيزيائية المرسلة الحباز المناسب (سماعة، شاشة عرض،....). والشكل التربدي Block Diagram العام المستقبلة تستخدم التعديل الترددي FM:



وبالتالي يمكن تلخيص العمليات التي تقوم بها أجزاء المستقبلة Receiver بما يلي:

- I. وظيفة هوائي المستقبلة Antenna: التقاط الموجة المرسلة ذات التردد الميكروي بشكل جيد ويكفاءة عالية عند مختلف الترددات ومن كافة المحطات المرسلة المختلفة وتحويل هذه الموجة الكهرومغناطيسية إلى موجة كهربائية معدلة.
- وظيفة مصفى تمرير الحزمة الراديوية Band Pass Filter: التخلص من الترددات غير المرغوبة المصاحبة للموجة المستقبلة بشكل فعال ودقيق.
- 3. وظيفة دائرة ضبط الربح الآلي (AGC) الفقد في الفراغ الخارجي التي تجدث معالجة التغييرات المتباينة الناتجة عن الفقد في الفراغ الخارجي التي تجدث للإشارة خلال انتقالها من المرسلة إلى المستقبلة قبل تكبيرها أو إدخالها إلى دو اثر التعديل العكسي، ونلك من خلال تحكم دائرة AGC بأقصى قيمة في المهبوط في ممستوى الإشارة المستقبلة (عادة بين 40-50 dB). حيث تعمل هذه الدائرة المحسول على مستوى ثابت للإشارة المستقبلة (التي تلتقط بواسطة الهوائي بمستويات مختلفة)، وهذا المستوى الثابت له في الغالب قيمة معيارية AdC.

مثال توضيحي لفكرة عمل دائرة AGC: إذا النقط هوائي المستقبلة إشارة تعرضت لهبوط في مستواها بمقدار 43 dB فان دائرة AGC ترفع هذه الإشارة إلى المستوى المعياري الثابت وهو 5 dB قبل إدخالها إلى المرحلة التالية في المستقبلة. كذلك الحال لو النقط هوائي المستقبلة إشارة تعرضت لهبوط في مستواها بمقدار dB 47 dB فان دائرة AGC ترفع هذه الإشارة إلى نفس المستوى المعياري الثابت وهو 5 قبل إدخالها إلى المرحلة التالية في المستقبلة.

أي ان الإشارة التي تدخل على المرحلة التي نلي دائرة AGC تكون دائما بمستوى يساوي المستوى المعياري الثابت بغض النظر عن مستواها عند الهوائي.

4. وظيفة المعدل العكسي De-Modulator : تمييز الموجة المحمولة في الموجة المعدلة FM، أي استخلاص حزمة النطاق الأساسي من التردد الميكروي الحامل.

وعملية التعديل (وعملية التكبير) يمكن أن تتم عند ترددات أقل من التردد المدحدوي تعرف بالترددات المتوسطة Intermediate Frequency IF، حيث يتم العمل في الترددات المتوسطة بشكل أبسط من الترددات الميكروية العالية، ومن المخطط الصندوقي المستقبلة يتضح ان العمليات التي تتم عند التردد المتوسط IF هي:

- التحكم الآلي بربح الموجة المستقبلة (دائرة AGC).
- ب. استرجاع الموجة الأصلية ذات حزمة النطاق الأساسي من الموجة المعدلة المستقبلة ذات التردد الميكروي (عملية التعديل العكسي -De (Modulation)
 - ج. تصفية التربدات غير المرغوبة القريبة من التربد الميكروي المطلوب.

في الأنظمة المبكروية ذات 1800 قناة نكون قيمة التردد المتوسط 140 MHz بينما في الأنظمة ذات 2700 قناة تكون قيمة التردد المتوسط 140 MHz. أما في أنظمة UHF ذات السعة القليلة فتكون فيه قيمة التردد المتوسط MHz.

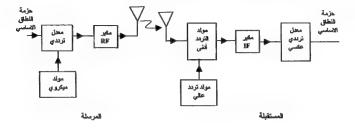
3-8 مرسلات التعيل المباشر

من الناحية العملية، ان أنظمة الاتصالات Systems تعمل في مدى الترددات الميكروية والعالية جدا (مثلا التردد الحامل في أنظمة البث الإذاعي نتراوح قيمته بين 108 MHz. في أنظمة البث الإذاعي نتراوح قيمته بين 108 MHz. في أنظمة البث الإذاعي نتراوح قيمته بين المنطق الرسال إشارة المعلومات ذات التردد المنخفض بشكل مباشر، وذلك لعدم قيرتها على الانتشار لمساقات طويلة. ومن هنا يأتي دور وأهمية عملية التعديل الترددي FM، لتحميل إشارة المعلومات (ذات حزمة النطاق الأساسي Base الترددي Base) على إشارة ذات تردد عالى التي أصبحت تعمل عمل وسيلة نظ مسؤولة عن توصيل الإشارة المحمولة عليها إلى نقطة الوصول المطلوبة (المستقبل).

وبإجراء عملية التعديل Modulation يتم نقل إشارة المعلومات من حزمة النطاق الأساسي Base Band إلى حزمة الترددات العالية Signal . Signal.

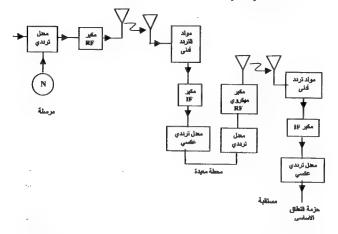
ان الإشارة المرسلة يجب أن تكون ضمن مقاييس معينة لضمان استقبال جيد في الطرف الآخر من النظام عند المستقبلة. فيجب أن تكون الإشارة المرسلة ذات قدرة كافية الإرسالها إلى مسافات كبيرة بحيث تكون الإشارة المستقبلة في الجهة الأخرى ضمن المستوى المسموح به (فلا تكون إشارة الضجيج بمستوى أعلى من مستوى إشارة المعلومات). كما يجب ان تكون هذه القدرة مركزة عند النتردد الحامل للموجة وليس عند أي نتردد آخر غير مرغوب حيث سينم في المستقبلة تصفية هذه النترددات الغير مرغوبة.

والمقصود بمرسلات التعديل المباشر المرسلات التي تعدل فيها إشارة المعلومات الموجة المبكروية التي تولد بواسطة المهتزات المحلية (أو غيرها من المهتزات) دون الحاجة لترددات متوسطة Intermediate Frequency والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي لنظام التعديل المباشر المنكون من مرسلة ومستقبلة بدون أي محطات نقوية (إعادة) بينهما:



فغي المرسلة يقوم المهتز المحلى بتوليد الموجة الميكروية التي تعدل بموجة حزمة النطاق الأساسي بواسطة أحد المعدلات الترددية التي تم شرحها سلبقا، ويتم تكبير الموجة المعدلة ازيادة قدرتها قبل بثها من خلال الهواتي. أما في المستقبلة يتم تحويل التردد الميكروي المستقبل الحامل لموجة المطومات إلى تردد أدنى (تردد متوسط)، الذي يكبر ثم يعدل عكسيا بأحد دوائر التعديل الترددي العكسي لاسترجاع حزمة النطاق الأساسي Base Band.

وتستعمل طريقة التعديل المباشر مع الأنظمة التي تتعامل مع حزمة الترددات UHF. كما أن أنظمة الاتصال الميكروية لمسافات 400 Km تستعمل طريقة التعديل المباشر ولكن توضع محطات تقوية وإعادة (وتسمى قفزات) بين المرسلة والمستقبلة الأساسيتين الموجودتين على الأطراف، كما هو موضح في المخطط الصندوقي التالى:



ويتكون المعيد من دائرة للاستقبال ودائرة لإعادة الإرسال مربوطتان خلف لخلف لخلف المعيد من دائرة للاستقبال الإشارة المرسلة وتمر بنفس المراحل في المستقبل السابق ثم تكبر ويعاد تعيلها ولإسالها. والغرض من هذه المعيدات غير المأهولة تقوية الإشارة المرسلة بين أطراف تفل بينهما مسافات بعيدة، وغالبا ما تشكل هذه الأطراف قرى لها مقاسم تليفونية بحيث يؤخذ عدد من القنوات الصوتية وتربط مع المقسم بينما محطات التقوية البينية فلا تحتوي مقاسم تليفونية ولا تتعامل مع قنوات صوتية (وبالرغم من ذلك تحتوي كل

الأجهزة اللازمة التعديل والتعديل العكسي). وتسمى المعيدات في أنظمة التعديل المباشر بمعيدات حزمة النطاق الأساسي.

ان نظام التعديل المباشر له عدد من السيئات، هي:

- تعدد أجهزة التعديل والتعديل العكسي يشارك في إنتاج إشارات غير مرغوبة (تشويش) في القنوات الصونية.
- 2. تسبب أجهزة التعديل والتعديل العكسي أو أجهزة تكبير حزمة النطاق الأساسي. وفي أنظمة الأساسي حدوث تغييرات في مستوى حزمة النطاق الأساسي. وفي أنظمة الاتصال بعيدة المدى يوضع عدد أكبر من المعيدات وبالتالي عدد أكبر من هذه الأجهزة، مما يجعل لهذه التغييرات تأثير فعال ويصبح هذالك حاجة للصيانة المستمرة للأجهزة.

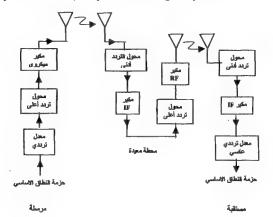
وبمدب هذان السببان لا يستعمل التعديل المباشر. ولذما يستعمل الذوع الآخر من المرسلات، هو نظام التعديل الهيتروديني Transmitter.

Heterodyne Transmitter المرسلات الهيتروبينية

الفرق الأساسي بين أنظمة التحديل المباشر والأنظمة الهيئرودينية يكمن في المرسلة، فخلافا المرسلة التحديل المباشر (التي يتم تحديل إشارة حزمة النطاق الأساسي فيها مباشرة)، ففي مرسلة التحديل الهيئروديني يتم رفع التردد من حزمة النطاق الأساسي إلى تردد أعلى (تردد متوسط) ويتم تحديل الموجة المبكروية ذات التردد العالي (70MHz) بالموجة المتوسطة، أما في المستقبلة فيتم تحديل التردد المبكروي إلى تردد أقل قيمة والذي بمثل أيضا التردد المتوسط وتدخل الموجة المتوسطة إلى محدل عكسي ترددي الحصول على حزمة النظاق الأساسي. ولا تتعامل المعيدات في أنظمة التعديل الهيئروديني

مع حزمة النطاق الأساسي. وإنما يحول الإشارة الميكروية إلى إشارة متوسطة ثم يعيد تعديلها تردديا وتكبيرها قبل إعادة إرسالها، ولذلك تسمى المعيدات في هذه الأنظمة بمعيدات الموجة المتوسطة (معيدات IF).

والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي لنظام التعديل الهيتزوديني:



أسئلة الوحدة الثالثة

- س1) ما المقصود بالتعديل الترددي FM؟
- س2) ما الفائدة من تعديل الموجة تردديا FM؟
- س3) ما الفرق الذي تلاحظه بين محطة إذاعية من نوع FM ومحطة إذاعية أخرى من نوع AM?
- 4) إذا كان تردد الموجة المحمولة يساوي 15KHz وانحراف التردد الموجة المحدلة تعديل ترددي FM يساوي 10KHz ، لحسب معامل التعديل.
- مى5) احسب معامل التعديل للسؤال السابق إذا كان انحراف التردد Δf يساوي $20 {
 m KHz}$
 - س6) موجة معدلة تعديل ترددي FM ذات العلاقة القياسية التالية: $V(t)=2\,\mathrm{Sin}(10^{12}\,t+\mathrm{Sin}(1000t))$

ما قيمة انحراف التردد لهذه الموجة؟

مر7) موجة معدلة تعديل ترددي FM ذلت العلاقة القياسية التالية: $V(t)=4\,\sin(10^{12}\,t+2\,\sin(2000t))$

ما قيمة انحراف التردد Δf_{rms} لهذه الموجة؟

س8) موجة معدلة تعديل نريدي FM ذات العلاقة القياسية التالية: ((t) = 2.5 Sin(10¹² t + 3 Sin(628*10⁴ t)

ما قيمة انحراف التردد Δf_{max} لهذه الموجة؟

m (و) إذا كان تردد الموجة المحمولة m = 24KHz ، وانحراف التردد الموجة المحدلة 4KHz ، فما عرض النطاق (BW) المطلوب الإرمال الموجة المحدلة FM و (استعن بجدول معامل التعديل الترددي)

س10) محطة FM تبث موجات صوتية ذلك مدى تريدي (50Hz-25KHz) فما مدى معامل التعديل المسموح به لهذه المحطة، مع العلم أن أقصىي انحراف تريد لمحطة FM هو 75KHz.

س11) إذا كان تردد الموجة المحمولة f_m = 20KHz ، وانحراف التردد الموجة المعدلة 40KHz ، فما عرض النطاق (BW) المطلوب المرجة المعدلة FM ؟ (استعن بجدول معامل التعديل الترددي) محطة FM تبث موجات صوتية ذات مدى ترددي - 10Hz .

العلم أن أقصى انحراف تردد لمحطة FM هو 75KHz .

س13) التعديل الترددي لموجة معقدة (موجة مكونة من عدة ترددات f_{m2} ، f_{m1} ، بختلف عن التعديل الترددي لموجة بميطة ذات تردد واحد. فما هو هذا الاختلاف؟ وما هي الحزم الجانبية الناتجة في حالة التعديل الترددي للموجة المعقدة؟

س14) إذا كانت لدينا الموجة المعقدة التالية:

 $V(t) = 4 \sin(2000t) + 2 \sin(1000t)$

وأرينا عمل تعديل تريدي FM لها، فما تريدات الحزم الجانبية التي منتظهر في الطيف التريدي الموجة المعدلة، إذا كان تريد الموجة الحاملة يماوي GHz و 10¹²

س15) إذا كانت لدينا الموجة المعقدة التالية:

 $V(t) = 4 \sin(2000t) + 2 \sin(1000t) + 2 \cos(1500t)$ وأردنا عمل تعديل ترددي FM لها، فما ترددات الحزم الجانبية التي ستظهر في الطيف الترددي الموجة المعدلة، إذا كان تردد الموجة الحاملة يساوي $300 + 10^{12}$

- س16) ما تأثير زيادة إزاحة التردد Δf على عرض النطاق للموجة المعدلة ترديبا FM ؟
- س17) ما طرق التعديل الترددي FM؟ ما التقنية المتبعة في كل من هذه الطرق؟
 - س18) ما الفرق بين إشارة NBFM وإشارة WBFM ؟
 - س19) ما الغرض من المعدلات العكسية Frequency Demodulators س
 - س20) ما للدوائر الأساسية المستخدمة للتعديل للعكسي الترددي ؟
- س21) ما المقصود بخطة مميز التردد المتوازن؟ ما المخطط العام لهذه الخطة؟
 وما ألية عملها؟
 - س22) اذكر ثلاثة أنواع لمميز التربد المتوازن موضحا آلية عمل كل منها.
 - س23) ما أسباب التشوه في الإثمارة الناتجة من المميز ؟
 - س24) ما المكونات الأساسية لهذا المعدل العكسي PLL؟
 - س25) ما وظيفة المحدد Limiter؟ وكيف يمكن الحصول على محدد قوي؟
- س26) قارن بين تأثير التشويش الأبيض على موجئين أحدها عدلت تعديل تردديا FM والثانية عدلت تعديل سعوي AM?
- س/27) ما المقصود بدائرة التأكيد السابق Pre- Emphasis و ما الخصائص الانتقالية لها ؟ ما تأثيرها على الإشارة المعدلة FM المرسلة؟ أعطى مثال بسيط عنها.
- س28) ما المقصود بدائرة التأكيد اللاحق De- Emphasis؟ ما المصائص الانتقالية لها ؟ ما تأثيرها على الإشارة المعدلة FM المستقبلة؟ أعطي مثال بسيط عنها.

س29) ما العلاقة بين الخصائص الانتقالية لدائرة التأكيد اللاحق -Pre
Emphasis والخصائص الانتقالية لدائرة التأكيد السابق -Emphasis

س30) إذا كانت الخصائص الانتقالية لدائرة التأكيد السابق Pre- Emphasis على النحو التالي:

$H_n(f) = 10 + i200$

فجد الخصائص الإنتقالية لدائرة التأكيد اللاحق De- Emphasis لهذا النظام.

س 31) إذا كانت الخصائص الانتقالية لدائرة التأكيد اللاحق De- Emphasis على النحو التألى:

$H_d(f) = 10/(1+j(1/200))$

فجد الخصائص الانتقالية لدائرة التأكيد السابق Pre- Emphasis لهذا النظام.

س32) ما العلاقة بين كسب دائرة التأكيد السابق Pre-Emphasis والتردد ff والتردد ff والتردد ff من كسب دائرة التأكيد اللاحق De-Emphasis والتردد ff من كسب دائرة التأكيد اللاحق مناشر دون أي سال المنارة حزمة النطاق الأساسي بشكل مباشر دون أي تعديل f

س35) ما المقلييس التي يجب أن تتولجد في الإشارة المعدلة تردديا FM قبل لو سالها؟

س36) ما سيئات نظام التعديل المباشر؟

س37) مما يتكون نظام التعديل المباشر؟

س38) ماذا تسمى المعيدات في نظام التعديل المباشر؟ ما سبب هذه التسمية؟

س39) مما يتكون نظام الهيتروديني؟

س40) ماذا تسمى المعيدات في نظام التعديل الهيتروديني؟ ما سبب هذه التسمية؟

س41) كيف تتم معالجة سيئات التعجيل العبشر في نظام التعديل الهيتروديني؟ س4 FM إذا كان عدد الحزم الجانبية الفعالة في موجة معدلة 4 FM حزم، وعرض الحزمة 100MHz. فما قيمة تردد الموجة المحمولة fm?

الوحدة الرابعة



الوحدة الرابعة

العوامل المؤثرة على أنظمة الميكرويف

1-4 النشويش وأتواعه Types of Noise

التشويش أو الضجيج Noise عبارة عن إشارة غير مرغوبة Undesired Signal تضاف إلى الإشارة الأصلية وتظهر في الإشارة التي تصل المستقبلة.

ان التشويش هي النقطة التي يجب على جميع دارسي الإلكترونيات Electronics والاتصالات Telecommunications التعرف عليها بشكل جيد. إنها النقطة التي تحدد أداء Performance وكفاءة أي نظام بيد. إنها النقطة التي تحدد أداء Performance وكفاءة أي نظام ان إشارات الضجيج تكون ضعيفة بشكل عام (نقاس بوحدة μV)، لذلك من الغريب التفكير لماذا تشكل هذه المشكلة! ان المستقبل حتى للإشارات الضعيفة الاتصالات بعد جهاز حساس جدا Very Sensitive حتى للإشارات الضعيفة وتليه مباشرة مرحلة تكبير Amplification عالي انتك الإشارات قبل وصولها لهاية إلى السماعة Speaker أو جهاز عرض آخر سمعي أو مرئي.

وهناك نوعين من الضجيج: الضجيج الذي يضاف إلى الإشارة المرسلة أثناء انتقالها في الوسط الناقل Medium ويعرف هذا النوع بالضجيج الخارجي External Noise، أما النوع الآخر فهو الضجيج الذي ينتج في المستقبل نفسه ويعرف بالضجيج الدلخلي Internal Noise.

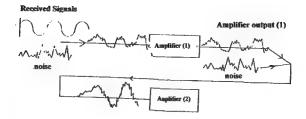
ومن أنواع الضجيج الخارجي External Noise:

 الضجيج الناتج عن الأخطاء البشرية Man-Made Noise وهي تحدث في ترددات 500MHz وما فوق، كما أنها ضعيفة جدا.

- 2. الضجيج الجوي Atmospheric Noise : هو الضجيج الذي ينتج من الاضطرابات في الجو المحيط بالأرض والذي ينتشر في الترددات المختلفة. وهو يصبح أمل أهمية Less severe في الترددات الأعلى من MHz اللمبين التاليين:
- أ. الترددات الأعلى محدة بمدئ خط النظر المباشر ، أي أقل من 80 Km.
- ب. طبيعة الميكانيكية الموادة لها الضجيج تواد إشارة ضجيج أقل
 بكثير في حزمة ترددات VHF والترددات الأعلى منها.
- 3. الضجيج الفضائي Space Noise : ويوجد نوعين منه: الضجيج الكوني Cosmic Noise . ويلاحظ الضجيج الشمسي Solar Noise . ويلاحظ الضجيج الفضائي في مدى الترددات بين MHz و 1.43 GHz و بترددات أعلى من هذه في بعض الأحيان.

أما الضجيج الدلخلي Internal Noise كما ذكر سابقا فهو الضجيج الذي يضاف من المستقبل نفسه (أي أن الضجيج الخارجي الدلخل إلى هوائي Antenna المستقبلة يضاف له ضجيج يولد في المستقبل Receiver قبل وصوله إلى المخرج الأخير).

ان أهم إسهام للضجيج في المستقبل يحدد بمرحلة التكبير الأولى حيث ال الإشارة المرغوبة ذات مستوى قليل في تلك المرحلة وبالتالي فان الضجيج سوف يكون له تأثير كبير. وبين مرحلة التكبير الأولى والثانية يضاف ضجيج آخر ولكن ليس له نفس التأثير. ويجب أن يؤخذ تأثير الضجيج في المرحلتين عند تصميم المكبرات Amplifiers. والشكل التالي يوضح مراحل إضافة الضجيج على الإشارة في المستقبل:



وأهم أنواع الضجيج الذي يولد في المستقبلة (الضجيج الدلخلي) هو الضجيج الذي لا نستطيع التحكم الضجيج الذي لا نستطيع التحكم به.

Thermal Noise التشويش الحراري

هو الذاتج عن خسارة جزء من الطاقة بشكل حرارة، وتحسب قدرة الضجيج وفقا للعلاقة التالية:

 $P_n = KT\Delta f$

حيث:

Noise Power يمثل قدرة إشارة الضجيج: Pn

1.38 * يمثل ثابت بولنزمان Boltzmann Constant ويساوي * K 10⁻²³ Joul/Kelven

T: يمثل درجة حرارة المقاومة بوحدة الكيافين (Kelvin (k

Δf: يمثل عرض الحزمة النرددية Band Width النظام بوحدة الهرتز Hz.

فالعلاقة بين قدرة هذا الضجيج وعرض نطاق النظام علاقة طردية مباشرة، فكلما زاد عرض النطاق كلما ازدادت قدرة الضجيج الحراري Thermal Noise.

ويمكن التعويض عن معائلة القدرة في المعائلة أعلاه لتصبح على النحو التالي:

$$P_n = V_n^2 / R = KT\Delta f$$

وبما أن أعلى قدرة تحدث عندما يكون مقاومة المصدر مساوية المقاومة الحمل (R=R_L)، فتصبح الفوائية على الحمل نوزع مناصفة بين المقاومتين وبالتالى تصبح المعادلة:

 $P_n = (V_n/2)^2/R = KT\Delta f$ فان الغولتية المكافئة الضجيج الحر ار ي تساوي $V_n = \sqrt{4} \; KT\Delta f R$

مثال1: مكبر يعمل في حزمة الترددات الممتدة بين MHz 18 إلى 20 MHz و 0.2 مثال 1: مكبر له مقاومة تساوي 10 KΩ ما قيمة فولتية الضجيج الدلخلة إلى المكبر إذا كانت درجة الحرارة المئوية 2°C ?

الحل:

أولا يجب تعويل درجة الحرارة من الوحدة المنوية C إلى الكيلفين K حسب العلاقة التالي:

$$T = C + 273$$

= 27 + 273 = 300 K

كما يجب حساب عرض الحزمة الترددية Af وفقا للعلاقة:

$$\Delta f = f_h - f_l$$
$$= 20 - 18 = 2 \text{ MHz}$$

بالإمكان الأن حساب قيمة إشارة الضجيج الدلخلة إلى المكبر وفقا

 $V_n = \sqrt{4} \text{ KT} \Delta f R$ $= \sqrt{4} * 1.38 * 10^{-23} * 300 * 2 * 10^6 * 10^4$ $= \sqrt{24} * 1.38 * 10^{-11}$ $= 18.2 \,\mu\text{V}$

مثال2: مضخم يعمل بعرض نطاق ترددي 4 MHz له مقاومة 100Ω يعمل بدرجة حرارة 27C وله كسب يساوي 200، الإشارة الداخلة تساوي $5\mu V_{ms}$ ، جد قيمة الإشارة الضجيح وإشارة المعلومات الخارجة من المكير .(أهمل الضجيح الخارجي).

الحل:

II-KEE:

أو لا يجب تحويل درجة الحرارة من الوحدة المثوية C إلى الكيلفين K حسب العلاقة التالى:

$$T = C + 273$$

= 27 + 273 = 300 K

لحساب قيمة إشارة الضجيج الخارجة يجب أو لا حساب قيمة إشارة الضجيج الداخلة إلى المكبر وفقا للعلاقة:

$$V_n = \sqrt{4 \text{ KT} \Delta f R}$$
= $\sqrt{4 * 1.38 * 10^{-23} * 300 * 4 * 10^6 * 100}$
= 2.57 μV

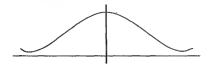
ان إشارة الضجيج نكبر بنفس النسبة التي تكبر بها الإشارة المرغوبة وهي في هذا المثال 200 مرة، وبالتالي فان الإشارة المخارجة تساوي:

$$V_o = V_{in} * G$$
 إثمارة المعلومات الخارجة من المكبر تساوي:
$$V_o = 5*10^{-6}*200 = 1~mV$$

إشارة الضجيج الخارجة من المكبر تساوي:

$$V_{no} = 2.57 * 10^{-6} * 200 = 0.514 \text{ mV}$$

ان التشويش الأبيض White Noise له مركبة في جميع الترددات ويأخذ شكل جاوسيان في توزيع الطيف الترددي والموضح في الشكل التالي:



وبما ان عرض الحزمة للإثمارة المعدلة FM يعطى (بشكل تقريبي) حسب علاقة كارسون:

$$\mathbf{BW} = 2(\mathbf{f_m} + \Delta \mathbf{f})$$

حيث :

Δf : تمثل الإزاحة القصوى للتردد.

أعلى تردد للموجة المحمولة. f_m

فان الجزء الذي يؤثر من التشويش الأبيض على الإشارة المعدلة يكون الجزء المحصور بعرض الحزمة هذه، وبذلك فان زيادة عرض الحزمة الموجة المعدلة يصاحبه زيادة نصبة التشويش الأبيض .

ولكن إذا كانت نسبة قدرة الإشارة المعدلة إلى قدرة إشارة الصحيج كبيرة (S/N)، فإن النظام لا يتأثر في هذه الحالة. وبمقارنة نظام FM بنظام AM في هذه الحالة، فإن تأثير التشويش في نظام FM يكون أقل من تأثيره في نظام AM ولكن عرض النطاق في نظام FM يكون لكبر. ولكن إذا أصبحت نسبة (S/N) قليلة فان التشويش يؤثر على الاتصال ويهبط أداء نظام FM بشكل كبير. ويمكن التقليل من هذه المشكلة بنقليل عرض النطاق BW.

ان من أهم العلاقات الأساسية المستخدمة في أنظمة الاتصالات هي تعبية الإشارة إلى الضجيج (Signal to Noise Ratio (S/N). وهي مقياس نسبي لقدرة إشارة المعلومات S إلى قدرة إشارة الضجيج N والموضحة بالعلاقة الرياضية الثالية:

 $S/N = P_s/P_n$

وعادة ما يعبر عن هذه النسبة بالصيغة اللوغاريتمية: S/N = 10 Log{ P₂/P_n}

ومن المقابيس التي تعامل مع الضجيح مقياس " Noise Figure NF" والذي يعطي تصور عن مدى التشويش الناتج من الجهاز ويعرف على النحو التالى:

 $NF = 10 Log\{ (S_i/N_i)/(S_o/N_o) \}$

حيث:

S_i/N_i : تمثل نسبة قدرة إشارة المعلومات إلى إشارة التشويش عند مدخل الجهاز.

نمثل نمبة قدرة إشارة المعلومات إلى إشارة التشويش عند S_0/N_0

مثال1: إذا كانت فولتية الإشارة الخارجة من جهاز تساوي 1mV والضجيج تساوى 0.514 mV، فما قيمة S/N عند نلك النقطة؟

الحل:

العلاقة بين القدرة والفولئية تعطى على النحو التالى:

$P = V^2/R$

وتطبق هذه العلاقة على إشارة الضجيج أيضا، وبالتالي فان: S/N = 10 Log{ P/P_n}

= 10 Log { $(V_s^2/R) / (V_n^2/R)$ }

 $= 10 Log\{V_s^2/V_n^2\}$

 $= 20 \text{ Log } \{ V_s/V_n \}$

 $= 20 \text{ Log } \{1/0.514\}$

 $= 5.78 \, dB$

مثال2: إذا كانت نسبة S/N عند مدخل مكبر Amplifier تساوي 10، نسبة S/N عند مخرجه تساوى 5، فاحسب FN لهذا المكبر.

الحل:

بالتعويض المباشر في قانون NF نحصل على الجواب: $NF = 10 \text{ Log}\{ (S_i/N_i)/(S_0/N_0) \}$ = $10 \text{ Log}\{ 10/5 \} = 10 \text{ Log}(2) = 3 \text{ dB}$

2-4 التشويه Distortion

يختلف التشويه عن التشويش بكون الثاني بمثل إشارة خارجية غير مطلوبة تضاف إلى إشارة المعلومات المرغوبة بشكل لا إرادي مسببة تغيير في التساعها. أما التشويه Distortion فهو تغيير غير مرغوب (تشويه) بحدث لموجة المعلومات نفسها قد يسبب اختلاف في الاتساع أو التردد أو الطور أو يكون مركب من أكثر من عنصر منهم. ويحدث التشويه نتيجة مرور الإشارة بقناة الإرسال أو أي دائرة أخرى خلال عملية الاتصال بحيث تسبب تلك الدائرة التشويه غير المرغوب عند أدائها لعملها (على اختلاف نوع هذا العمل).

ويقسم النشويه بشكل عام إلى قسمين (أو نوعين)، هما:

- 1. تشويه خطى Linear Distortion: وينتج من دائرة ذات علاقة خطية، أو بكلمات أخرى ذات خصائص انتقالية (تر بط بين الإشارة الخارجة منها و الداخلة إليها) خطية (تسبب تغير في الاتساع أو الطور أوكلاهما ولكن لا تسبب تغير في التردد). ويقسم بدوره إلى قسمين:
 - أ. تشويه ترددي Frequency Distortion : هو التغير في الاتساعات النسبية لمكونات الطيف الترددي Spectrum الموسلة (وليس في قيمة الاتساعات النسبية لمكونات الطيف التردد نفسه). وكما ذكر سابقا فان قيمة الاتساعات النسبية لمكونات الطيف التردد الموجة المعللة تردديا FM يساوي اقتراتات بيسيل J_n(mg).

ب.تشويه تأخيري Delay : والذي ينتج عن التغير في وقت التراسل أو التأخير لمكونات الطيف التردد المختلفة أي تغير في الطور Phase Shift)

والتشويه الخطي يمكن معالجته في المستقبلة Receiver بإضافة معادل Equalizer له خصائص انتقالية تعادل تأثير قناة الإرسال من حيث الاتساع (الربح) أو الطور (وهما العاملان اللذان يتأثران بالتشويه الخطي. فعثلا أو تسبب قناة الاتصال بتغيير في الاتساعات النسبية لمكونات الطيف الترددي Spectrum المحودة المرسلة بقيمة -2dB فعلى المعادل أن يعطي ريح بقيمة +2dB لمعادلة التغيير الحاصل. فعلى المعادل أن يعطي ريح بقيمة +2dB لمعادلة التغيير الحاصل. طور مكافئ ولكن معادل لهذه القيمة (فرق طور سالب). وبشكل علاقة عامل فان الخصائص الانتقالية المعادل +10 بجب أن نكون مكافئة الخصائص الانتقالية المعادل +11 بجب أن نكون مكافئة الخصائص الانتقالية المعادل +11.

$$H_{eq}(f) = 1/H_{t}(f)$$

يسبب التشويه الخطي خصائص غير مثالية للاتماع أو الطور أوكليهما مما قد يؤدي إلى تداخل الإشارات المتجاورة في ما بينها (تداخل كلي).

2. تشويه غير خطي Non-Linear Distortion : ينشأ هذا التشويه عن دوائر ذات خصائص انتقالية (أو منحنى استجابة) غير خطبة، (أي أن علاقة الإشارة الخارجة من الدائرة لا نتناسب بشكل مباشر مع الإشارة الداخلة منها) فقد تحتوي الإشارة الخارجة على نرددات مختلفة عن الترددات الموجودة في الإشارة الداخلة، ومن الأمثلة على ذلك المازج المستخدم في عملية التحديل.

وبالرغم من أن تصحيح هذا التشويه أمر أكثر تعقيدا مما هو في التشويه للخطي، إلا انه بالإمكان تصحيح جزء من التشويه الغير خطي بمعادل مكمل Complementary Equalizer.

ان تأثير عدم الخطية على الاتساعات الكبيرة كبير بينما ليس لها تأثير على الاتساعات القليلة. أما تأثيرها على التردد فكما ذكر سابقا أنه يسبب ظهور مكونات ترديية لم تكن موجودة في الموجة الأصلية. وان لم يكن تشويه الإشارة السبب الوحيد لظهور مكونات جديدة في الطيف الترددي الموجة المرسلة،. فقد يحدث ذلك نتيجة تدلخل الإشارات المتجاورة مع بعضها البعض.

3-4 تداخل التحيل Inter-modulation

تداخل التعديل هو نوع من التشويه الغير خطى والغير مرغوب فيه الذي ينتج نتيجة مزج الإشارات في دوائر لها خصائص انتقالية غير خطية في النظام (كالمعدل Modulator). ويزداد نتيجة:

1. زيادة الحمل Over Load.

2. زيادة مستوى حزمة النطاق الأساسي الدلخلة إلى النظام.

4-4 الخفوت Attenuation

الخفوت Attenuation : هو انخفاض يحدث في مستوى الإشارة نتيجة سبب أو أكثر من الأسباب التالية:

1' . . .

- 1. خفوت التداخل: بسلوك الموجة المرسلة عدة مسارات سينتج عدد من الموجات ذات الأطوار Phases المختلفة. وبتداخل هذه الموجات يحدث إضعاف المستوى الموجة المسئلمة عند هوائي المسئقبلة. وقد تحدث عدة انعكاسات للموجة المرسلة لتنتج إشارة بخسارة متغيرة وبعد النظام في هذه الحالة انه بعائي من خفوت متعدد المسارات.
- خفوت القدرة Power Fading ويحدث هذا النوع من الخفوت Power Fading في ظروف جوية غير اعتيادية وتكون شدة الخفوت أقل.
- 3. الامتصاص الجوي Atmospheric Absorption. والذي يحدث نتيجة المطار والثلج ويكون تأثيره كبير جدا في الترددات الميكروية العالية؛ ويكون الخفوت في الإشارة عند التردد GHz تكون قليلة نسبيا، ويزداد الخفوت (التوهين) Attenuation بازدياد التردد حتى يصبح حاد عند تردد Attenuation.

4-5 عطل المسار الميكروي

ترسل الإثنارة من المرسلة Transmitter بقدرة عالية لغرض ضمان ؛ وصولها بشكل واضح و"مفهوم" من قبل المستقبلة Receiver. وتتعرض الموجة بعد إرسالها في الفراغ الخارجي إلى فقد Losses، وتعتمد قيمة هذا الفقد على النردد المستخدم في الإرسال وقطر الهوائي ووفقا لقانون الفقد الخارجي F.S.L (الذي تم شرحه سابقا) بمكن حسابه على النحو التالي:

F.S.L = -10 Log[$(c /4\pi *f* D)^2$] = - 147.5 + 20 Log(f) +20Log(D) dB

ويما أن القدرة المرسلة ذات قيمة محددة ومعلومة P_t وفقد الفراغ ممكن حسابه، فبالتالي يمكن حساب القدرة المستقبلة P_r عند هوائي الطرف الثاني من العلاقة:

 $G = 10 \text{ Log}[P_r/P_t]$ = - F.S.L

وهناك عوامل أخرى نزيد من الخسارة في القدرة المرسلة مثل الظروف الجوية السيئة. ويجب على المرسل أن يحسب قيمة الإشارة المرسلة بحيث يكون مستوى الإشارة المستقبلة مناسب التمييز الإشارة عن التشويش المصاحب. فنتججة الفقد العالي يمكن أن يكون مستوى الإشارة المستقبلة منخفض الحد الذي لا تستطيع فيه المستقبلة كشفها، وتسمى قدرة الإشارة المستقبلة التي تصنف إلى هذا المستوى بقيمة الإشارة المستقبلة على الخها صفر (غير موجودة) وبالتالي لا يتم استخلاص حزمة النطاق الأساسي من أنها صفر (غير موجودة) وبالتالي لا يتم استخلاص حزمة النطاق الأساسي من الإشارة المرسلة خلال المستقبلة، مما يسبب عطل في المسار فلا يتم الاتصال بين القنوات التليفونية. ويما أن غالبية المصاحبة وبالتالي تقطع الكثير من المكالمات التليفونية. ويما أن غالبية الاتصالات ستؤسس ثانية وفي آن ولحد تقريبا عند استنزاك العطل، فمن المتوقع حدوث ضغط على الخطوط ويسبب نلك از دحام صناعي Congestion. في المقسم.

ولا يقتصر تأثير هذا العطل على القنوات التليفونية فقط، فهي تؤثر أيضا على كل من الخدمة التلغوافية والتليفونية ففي الخدمة التلغوافية يمكن أن يسبب هذا العطل خطأ في الطباعة أو عدم كتابة حرف أو أكثر في الكلمة (misprint).

أما بالنسبة للقنوات التليفزيونية فتسبب هذه الأعطال رؤية غير واضحة أو انقطاع الصورة واو افترات زمنية قصيرة. ومن الضروري معالجة هذه الأعطال بمجرد ظهورها.

4-6 خفوت المسار المبكروي

إذا كانت قيمة الإشارة المستقبلة دون مستوى الإخماد، ينتج حالة العطل الكلي التي تستمر لفترة زمنية قصيرة. ولكن لا يعني أن تكون قيمة الإشارة المستقبلة أعلى من مستوى الإخماد عدم ظهور الأعطال. فقد يحدث ان تكون قيمة الإشارة المستقبلة أكبر من مستوى الإخماد ولكنها في الوقت نفسه أقل من القيمة المطلوبة للإشارة في الحالة الاعتيادية (تكون إشارة خافتة). وفي هذه الحالة لا يحدث عطل كلي المسار، وإنما يتسبب ذلك في حدوث عطل جزئي بستمر لفترات طويلة.

وفي حالة حدوث ذلك فان التشويش للحراري Thermal Noise بزيادة الهبوط في الإشارة. فكل هبوط بقيمة 1 dB لمستوى الإشارة يقابله زيادة dB أي التشويش للحراري، ويمكن معرفة القيمة الجديدة التشويش الحراري من القيمة السابقة وقيمة الزيادة على النحو التالى:

 $In = 10 Log[N_2/N_1]$

حيث:

In : مقدار الزيادة في التشويش الحراري والمساوية لقيمة الهبوط في الإشارة بوحدة dB.

N: قيمة (قدرة) التشويش الحراري قبل الزيادة.

N2: قيمة (قدرة) التشويش الحراري بعد الزيادة.

ومن الخطير في نظام متعدد القفرات (محطات الإعادة والتقوية والمتماثلة) ان قيمة الزيادة في التشويش الحراري تتناسب طرديا وبشكل مباشر مع عدد القفرات (n):

In a n

وبالتالي تتراكم ونزيد قيمة النشويش مع كل محطة نقوية تالية، فلا بد من طريقة النغلب على النوع من الخفوت. وإذا حدث ان كانت قيمة الفقد في المسار عالية جدا (أكثر من 6 dB) بكثير) يؤدي ذلك إلى ارتفاع نسبة النشويش بشكل كبير، وان تتمكنا من استخلاص إشارة حزمة النطاق الأساسي من المحدل العكسي المستقبلة فان ذلك لن يمنع أن تكون مثقلة بالتشويش. ولا بد من البجاد حل لهذا النشويش.

مثال1: كم مرة نكبر قيمة التشويش الحراري Thermal Noise إذا حدث خقوت للإشارة بمقدار dB 6 موزعة خلال ساعة زمنية ؟

الحل:

ان مقدار الزيادة في التشويش الحراري والمساوية لقيمة الهبوط في الإشارة وبالتالي تساوي dB 6 ، وذلك يمكن التعويض في العلاقة السابقة لحساب نسبة التكبير مباشرة:

 $\begin{aligned} &\ln = 10 \text{ Log}[N_2/N_1] \\ &6 = 10 \text{ Log}[N_2/N_1] \\ &N_2/N_1 = \text{Log}^{-1}[0.6] = 4 \\ &N_2 = 4N_1 \end{aligned}$

أي أن خفوت الإشارة بمقدار dB 6 تسببت أي أن خفوت الإشارة بمقدار dB 6 تسببت بزيادة قيمة التشويش الحراري 4 مرات عن القيمة الحرارية الاعتيادية. مثال2: إذا كانت الزيادة في قيمة التشويش الحراري في إحدى محطات الإعادة -(القفزة) تساوي dB 6، فما نسبة الزيادة في التشويش الأربعة قفزات منتالية في ذلك النظام؟

الحل:

ان قيمة الزيادة في التشويش الحراري نتناسب طرديا وبشكل مباشر مع عدد القفزات (n):

In a n

وبالتالي إذا كانت الزيادة في قيمة التشويش الحراري في القفزة الواحدة تساوي 6 dB 6. فان الزيادة المنراكمة في 4 قفزات تساوي:

$$In = 4 *6 = 24 dB$$

وبالنالي يمكن حساب النسبة كما في المثال السابق على النحو التالي:

 $In = 10 \text{ Log}[N_2/N_1]$

 $24 = 10 \text{ Log}[N_2/N_1]$ $N_2/N_1 = \text{Log}^{-1}[2.4] =$

 $N_2 = 4N_1$

أي ان نسبة النشويش تضاعف في الأربعة قفزات نتيجة زيادة قيمة التشويش الحراري 4 مرات عن القيمة الحرارية الاعتيادية في القفزة الواحدة.

7-4 أعطال الأجهزة وأسبابها وطرق الكشف عنها

بماذا تفكر إذا لم كانت الحرارة مقطوعة في التليفون؟ قد نظن أن أحد الأسلاك غير موصول، فإذا لم يكن الحال كذلك قد نفكر أن الجهاز معطل، فإذا لم يكن الحال كذلك قد نفكر أن القطع من الأسلاك الرئيسية في الشارع، فإذا لم يكن الحال كذلك نتوقع أن القطع من شركة الاتصال. المقصود من كل هذا، أنك

كشفت عن حالة العطل في النظام وبدأت البحث عن السبب لإيجاد الحل الذي يتناسب مع سبب العطل.

وما نطلق عليه عطل الأجهزة نقصد به في حقيقة الأمر أي ضعف في أداء نظام الاتصال. وينتج هذا الضعف في الأداء لأسباب مختلفة، فقد تنتج عن:

1. حالة انتشار الموجة (خفوت المسار): فقد يسبب الخفوت العالي للإشارة وهبوطها إلى مستوى الإخماد (أو أعلى منه بقليل) إلى عطل نام أو جزئي النظام، لا بد في هذه الحالة من رفع الإشارة إلى المستوى القياسي المطلوب. أعطال الأجهزة في دائرة الإرسال أو الاستقبال بالرغم من الانتشار الجيد الموجة المرسلة.

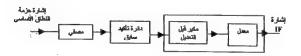
ويتم عمل صيانة دورية كل فترة لهذه الأجهزة للتأكد من أدائها بشكل سليم، وأن كان من المتوقع أن يقل الأداء قبل موحد الصيانة التالي (بسبب استخدام الأجهزة بشكل مستمر لتلك الفترة).ومع أن هبوط أداء الأجهزة بكون في حدود معينة إلا أنه قد يحدث هبوط في أداء أحد أو بعض الأجهزة بشكل أكبر من تلك الحدود المتوقعة. والأجهزة المهمة غالبا ما يتم عمل صيانة دورية منوية لها.

قد يحدث للعطل في أي مرحلة سواء الإرسال أو الاستقبال. ويجب معالجة للعطل وفقا لسببه على النحو التالي:

1. هبوط قدرة الإشارة المرسلة بقيمة AB : المستوى القياسي المطلق الذي يجب أن ترسل به الإشارة هو من 40 dBm إلى 427 dBm لحتمان استلام إشارة مستقبلة في مستوى أعلى من مستوى الإخماد بشكل ملحوظ. فإذا حدث هبوط في أي مرحلة للإشارة المرسلة فان هبوط مقابل مساويا له سيحدث للإشارة المستقبلة كما أن زيادة كبيرة ستحدث في التشويش. واذلك

يجب أن تبقى قدرة الإشارة المرسلة تحت المراقبة بشكل دائم المكشف الفوري عن أي هبوط القدرة. وتتم هذه المراقبة بقراءة مستمرة القيمة الإشارة على جهاز قياس Ammeter وفي حالة قراءة في هبوط المستوى بقيمة dB 3 تعطى الدوائر اللاحقة تتبيه.

2. هبوط في قدرة الإشارة المستقبلة: من الممكن أن يحدث الهبوط في الإشارة المستقبلة في أي من مراحل التكبير المختلفة (سواء مرحلة التكبير الأولي RF أو مرحلة التكبير للموجة المتوسطة IF المتصلتان بمكبر الربح الآلي AGC أو مرحلة التكبير لحزمة النطاق الأساسي)، كما يمكن أن يحدث الهبوط في مستوى الإشارة المستقبلة في أي مرحلة من مراحل التعديل Modulation أو التعديل العكسي Demodulation كما هو موضح في الشكل التالى:



ويتم الكشف عن العطل في هذه الحالة من خلال عملية التضبيط، الإبتدائي التي تتضمن وضع المفاتيح المختلفة بحيث تعطى نغمة فحص تردد واحد انحراف قيمته KHz ، 200 (في حال حدوث ضعف في الأداء بعد عدة أشهر من الفحص ظن تساوي قيمة الإزاحة قيمة كال 200 فمثلا في حالة ضعف الأداء بحيث كانت القيمة KHz 50 عوضا عن 200 KHz فان ممتوى حزمة النطاق الأماسي الناتجة من عملية التعديل العكسي ستكون أقل من الممتوى العادي بقيمة B 21، وهو مستوى متن

غير مقبول للإشارة. ويتم معالجة هذا الهبوط 12 dB بواسطة تكبير الإشارة بمكبر الربح الآلي AGC الذي يعادله بتكبير بقيمة 12 dB المثارة بمكبر الربح الآلي AGC التصويض بنفس القيمة (12 dB) مما يجعل منها قيمة ملحوظة في حزمة النطاق الأساسي عند مخرج المعدل العكسي. وبشكل عام فان ضعف الأداء أو هبوط الإشارة في دوائر التحديل العكسي يؤدي إلى ظهور واضح التشويش.

3. الحمل الزائد Over Load : حالة الحمل الزائد تحدث في الأنظمة المختلفة (أي حتى في غير أنظمة الاتصالات، فازدحام السير في الشوارع لا يحدث طوال الموقت وإنما في أيام معينة وفي ساعات معينة من تلك الأيام). وفي ما يتعلق بالهواتف فان كل قناة راديوية تحمل 300 أو 960 أو 1800 قناة صوتية، وليس بالضرورة أن تعمل كل هذه القنوات في آن ولحد ولكن في تحدث فترة "ازدحام" للقنوات غالبا مرتين خلال أوقات معينة في اليوم وتدوم ساعة أو التتين. وفي هذه الفترة تعمل كل أو جميع هذه القنوات (تحمل كلام أو نغمات التتييه).

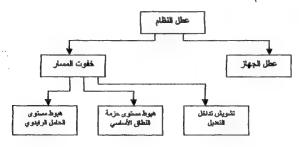
وعندما يقال أن حزمة النطاق الأساسي مشغولة كليا (Full) Loaded فان أجهزة الميكرويف ستسهم في نوعين من التشويش:

- التشويش الحراري Thermal Noise: قد يزداد هذا التشويش خلال ساعات العمل الكامل Busy Period (أو الأوقات الأخرى) بشكل مؤثر ليس على النظام فقط وإنما أيضا على باقي الأنظمة المتصلة به.
- تشویش تدلخل التعدیل Inter- Modulation Noise : ویزداد هذا التشویش بزیادة الحمل وزیادة مستوی حزمة النطاق الأساسي الدلخلة إلى المعدل.

ويتم تصميم الأجهزة بحيث تبقى قيمة هذان النوعين من التشويش ضمن الحدود المقبولة، ولكن بعد كل دورة صيانة للأجهزة (وقبل موعد الصيانة التالية) ينخفض أداءها ويزدل ممتوى التشويش عن المغروض.

كشف وتحديد العطل Fault Location

لكل جزء من أجزاء النظام (سواء في المرسلة أو المستقبلة) معابير قياسية محددة يجب أن تحقق. وان أي هبوط في الإشارة أو ضعف في أداء النظام يؤول دون هذه المقاييس والمواصفات المعيارية. وعلى اختلاف الأعطال نفسها أو أسبابها يمكن تقسيم نوعية الأعطال في النظام وفق المخطط التالي إلى ثلاثة أقسام مستقلة:



ومن هذا المخطط يلاحظ أن هذه الأجزاء المستقلة هي:

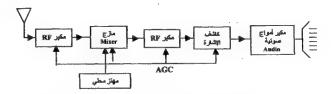
الهبوط في مستوى الإشارة الميكروية RF أو الموجة المتوسطة IF الداخلة المكبر Automatic Control Gain إلى مكبر IF ذو ضابط الربح الآلي (AGC).

- لهبوط في مستوى حزمة النطاق الأساسي المستقبلة (الخارجة من المعدل العكسي De-Modulator).
 - 3. زيادة مستوى تشويش تدلخل التعديل في الأجهزة.

ولكل عطل يحدث في النظام توجد طريقة خاصة التعامل له وتحديد موقعه بالضبط وأسلوب معين لمعالجته Fixing.

1-7-4 هيوط مستوى الاشارة الراعبوية المستقبلة

أو لا لا بد من توضيح المخطط الصندوقي للمرسلة لتعيين الدوائر المرتبطة بالإشارة الراديوية RF، والإشارة المتوسطة IF وأخذ صورة مبدئية عن عمل تلك الدوائر:



حيث تدخل الإشارة الراديوية إلى مكبر RF ، وبعد المازج نحصل على الموجة المتوسطة التي تدخل بدورها إلى مكبر IF . ويتحكم في مستوى الإشارة في هذه المراحل بواسطة ضابط الربح الآلي AGC الذي سنوضح ماهيته وطبيعة عمله التي تساهم في حل مشكلة الخفوت في مستوى الموجة المستقبلة. وضابط الربح الآلي AGC هو الدائرة (أو مجموع الدوائر) في النظام التي تحقق كسب كلي المستقبلة متغير بشكل أوتوماتيكي مع قوة الإشارة المستقبلة

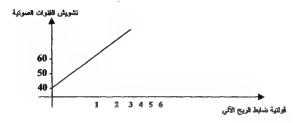
لتحقيق إشارة خارجة من النظام قوية بشكل فعلي ثابت. وتختلف دائرة AGC باختلاف نوع التعديل المستخدم في النظام (AM أو FM).

لتحديد الوضع: ما العطل؟ كيف سيتم الكشف عنه؟ كيف سيتم معالجته؟
يؤدي هبوط مستوى الإشارة الراديوية RF المستقبلة بالهوائي إلى هبوط
مساو له في مستوى الموجة المتوسطة IF الداخلة إلى مكبر IF، وأي هبوط في
مستوى الإشارة يؤدي أيضا إلى ارتفاع مستوى التشويش الحراري عن القيمة
الاعتبادية. ويتم الكشف والمعالجة لهذه المشكلة بواسطة ضابط الربح الآلي
AGC. فتتناسب فولتية AGC (المقروءة على جهاز قياس Ammeter) مع
الإشارة المستقبلة تناسبا طرديا على النحو الذالي:

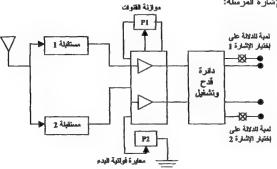
 أ. كلما ازداد مستوى الإشارة المستقبلة قل مستوى التشويش وزادت فولتية AGC بحيث تكون قراءة فولتية AGC عند أقصى قيمة لها عندما يصل مستوى التشويش إلى أدنى مستوى له.

ب. كلما الخفض معدوى الإشارة المعدقيلة ازداد معدوى التشويش وانخفضت فولتية AGC عند أدنى وانخفضت فولتية AGC عند أدنى قيمة لها عندما يصل معدوى التشويش إلى أعلى معدوى له ويعطى تنبيه لباقي النظام في حال حدوث ذلك حيث يكون معدوى الإشارة المعدقبلة معداو للصفر. وتستعمل فولتية AGC الدلالة على ارتفاع معدوى التشويش من B C الى AGC عادة.

والعلاقة بين مستوى التشويش في القنوات الصونية وفولنية ضابط الربح الآلي موضحة في الشكل التالي:



ويتم رفع مستوى الإشارة المستقبلة بما يتناسب مع الهبوط لتحقيق مستوى ثابت عند المكبر. وبالإمكان استخدام الطريقة الموضحة في المخطط الصندوقي Block Diagram التالي للكشف عن الهبوط العالمي المستوى الإشارة المرسلة:



حيث يتم استخدام دائرتي استقبال عوضا عن ولحدة فقط حيث يعطي الغرق بين قيمتي فولتية AGC مؤشر إلى المستقبلة ذات مستوى التشويش الأقل. حيث يوجد لكل مستقبلة مراقب المستوى التشويش وبناء على ذلك

المستوى تتغير قيمة مقاومة الموازنة المتغيرة Potentiometer . حيث تدخل فولتيتي AGC على دائرة مكبر تفاضلي، وعندما تتساوى الاثنتين تعاير المقاومة P1 التأكد من عدم وجود فولتية مختلفة على نقاط المراقبة. وتقوم دوائر المنطق اللاحقة بالدلالة على المستقبلة ذات الوضع الأقضل، أما المقاومة P2 تمستعمل لمعايرة الفرق بين فولتيتي AGC (أو التشويش) بحيث يتم اختيار إحدى المستقبلتين. ويسمى الفرق بين القيمتين بفولتية العتبة أو بدأ Threshold والتي توضع عند قيمة لا تقل عن ABC ومن الضروري منع الاختيار بيت المستقبلتين عندما تكونا كلاهما قريبتان من حالة العطل. بينما عندما يكون ناتج فولتية مقبلتين وتعادلان كأنهما مقبلتين

2-7-4 هيوط مستوى إشارة النطاق الأساسي

النوع الثاني من الأعطال هو هبوط مستوى إشارة النطاق الأسامي. وأيضا هنا يجب المراقبة المستمرة لمستوى هذه الإشارة للكشف عن أي عطل عند حدوثه كيف؟

ان مستوى إشارة النطاق الأساسي نفسه يختلف باختلاف المعلومة المرسلة فلا يوجد مستوى ثابت لها كمعيار للمقارنة والكشف عن الهيوط. وفي نفس الوقت إذا فرضنا إرسال إشارتين مختلفتين تماما في ظروف معينة وخلال وسط ما فان ما تعاني منه إحدى الإشارتين من هبوط في المستوى سوف تعاني منه الأخرى وبنفس النسبة. ويمكن الاستفادة من هذه الخاصية للكشف عن هبوط مستوى إشارة النطاق الأساسي، وذلك من خلال مزج إشارة خاصة Pilot ذات مستوى قدرة معلوم مع الإشارة الأساسية المرسلة قبل عملية التعديل مستوى قدرة معلوم مع الإشارة الأساسية عامرسلة قبل عملية التعديل المصنفياة وتغذيان المستقبلة وتغذيان

دائرة التعديل العكسي حيث يتم فصل إشارة Pilot عن إشارة المعلومات وتكبر ويتم فحص مستواها وتغذي دائرة تحذير من خلال مقاومة P1، وان أي هبوط أو تغيير تتعرض له هذه الإشارة فمن المتوقع أن الإشارة الأصلية قد تعرضت لله أيضا. وان قيمة P1 تحدد قيمة أدنى هبوط المستوى إشارة الدليل والذي عنده تبدأ دائرة التحذير بالعمل، وتسمى هذه القيمة بفولتية البدأ وتتراوح غالبا بين B b بلى dB ألى 4B.

أسئلة الوحدة الرابعة

- س1) ما المقصود بالضجيج Noise؟
- س2) ما الفرق بين التشويش Noise والتشويه Distortion؟
 - س3) ما المقصود بالتشويش الدلخلي Internal Noise ؟
- س4) ما الغرق بين التشويش الدلخلي Internal والخارجي External ؟
 - س5) ما أنواع الضجيج الخارجي External Noise ؟
- س6) مكبر يعمل في حزمة الترددات الممتدة بين GHz إلى 2'GHz له مقاومة تساوي ΚΩ ا، ما قيمة فولتية الضجيج الداخلة إلى المكبر إذا كانت درجة الحرارة المئوية 2°C ?
- س7) مضخم يعمل بعرض نطاق ترددي 6 MHz له مقاومة 120 Ω يعمل بدرجة حرارة $^{\circ}$ 24 $^{\circ}$ وله كمب يساوي 210 ، الإشارة الداخلة تساوي $15\mu V_{rms}$ من المكبر . (أهمل الضبيج الخارجي).
- س8) مضخم يعمل بعرض نطاق ترددي 6 MHz مقاومة 120Ω يعمل بدرجة حرارة $24C^\circ$ وله كسب يساوي 10 dB ، الإشارة الداخلة تساوي $15\mu V_{rms}$ ، $15\mu V_{rms}$ الخارجة من المكير . (أهمل الضجيج الخارجي).
- س9) إذا كانت فواتية الإشارة الخارجة من جهاز تساوي 120mV وللصجيج تساوي 14 mV ، فما قيمة S/N عند تلك النقطة؟ ما إشارة الناتج؟ على ماذا تدل هذه الإشارة؟

- س10) إذا كانت فولتية الإشارة الخارجة من جهاز تساوي 12mV والضجيج تساوي 12mV أما أشارة الناتج؟ على تساوي 14 mV ماذا تدل هذه الإشارة؟
- س11) إذا كانت فولنية الإشارة الخارجة من جهاز تساوي 12mV والضجيج تساوي 12mV فما قيمة S/N عند ذلك النقطة؟ ما إشارة الناتج؟ على ماذا تدل هذه الإشارة؟
- س12) إذا كانت قدرة الإشارة الخارجة من جهاز تساوي 12mwatt وللضجيج تساوي 14 m watt فما قيمة S/N عند تلك النقطة؟ ما إشارة الناتج؟ على ماذا تتل هذه الإشارة؟
- س 13) إذا كانت قدرة الإشارة الخارجة من جهاز تساوي 100 m watt وللضجيج تساوي 140 m watt غد ثلك النقطة؟ ما إشارة الذاتج؟ على ماذا تدل هذه الإشارة؟
- س14) إذا كانت نسبة S/N عند مدخل مكبر Amplifier تساوي 100، نسبة S/N عند مخرجه تساوي 60 فاحسب FN لهذا المكبر.
- س15) إذا كانت نسبة S/N عند مدخل مكبر Amplifier تساوي 60، نسبة S/N عند مخرجه تساوي 100 فاحسب FN لهذا المكبر.
- س16) كم مرة تكبر قيمة التشويش الحراري Thermal Noise إذا حدث خفوت للإشارة بمقدار dB 12 موزعة خلال ساعة زمنية ؟
- س17) كم مرة تكبر قيمة التشويش الحراري Thermal Noise إذا حدث خفوت للإشارة بمقدار dB 1 موزعة خلال ساعة زمنية ؟
- س18) إذا كانت الزيادة في قيمة التشويش الحراري في إحدى محطات الإعادة (الففزة) تساوي dB 6 أما نسبة الزيادة في التشويش لخمس قفزات متثالية في ذلك النظام؟

- س19) إذا كانت الزيادة في قيمة التشويش الحراري في إحدى محطات الإعادة (القفزة) تساوي dB 6 فما نسبة الزيادة في التشويش لمسافة (لله لله إذا وضعت محطة تقوية كل 45 Km في ذلك النظام؟
- س20) عندما نكون حزمة النطاق الأساسي مشغولة كليا (Full Loaded) فان أجهزة الميكرويف ستسهم في نوعين من التشويش، ما هما؟
 - س 21) ما الخفوت؟ وما أسبابه؟
 - س 22) ما المقصود بالحمل الزائد ومتى يحدث ولماذا؟
 - س 23) ما المقصود بضابط الربح الآلي AGC ؟
- س24) ما الذي يحدث في حالة ضعف الأداء بحيث كانت قيمة انحراف التردد
 50 KHz عوضا عن القيمة القياسية 200 KHz ؟
 - س 25) ما المقصود بمستوى الإخماد؟
 - س) ما تأثير هبوط مستوى الإشارة المستقبلة دون مستوى الإخماد في كل من
 الأنظمة التالية:
 - 1. شبكة اليواتف.
 - 2. القنوات التليفزيونية.
 - الإشارات التلغرافية.
 - س26) ما قيمة المستوى القياسي المطلق الذي يجب أن تكن عليه الإشارة
 المرسلة ؟
 - س27) ماذا يسمى العطل الناتج (كلي أم جزئي) عن استقبال إشارة:
 - أ. مستواها دون مستوى الإخماد.
 - ب، مستواها أعلى بقليل فقط من مستوى الإخماد.
 - س28) كيف يصنف العطل في السؤال السابق (قصير أم طويل الأمد)؟

- س 29) ما الأجزاء المستقلة التي تسبب أعطال النظام؟
- س30) ما للعطل النائج عن هبوط الإثبارة الراديوية المستقبلة ؟ وعلى ماذا يؤثر؟
 - س31) ما هو ضابط الربح الآلي AGC ؟
 - س32) ما العلاقة بين فولتية AGC ومستوى الإثنارة الراديوية المستقبلة؟
 - س33) ما العلاقة بين فولتية AGC ومستوى التشويش؟
- س34) في ما تستخدم المقاومتين المتغيرتين PI وP2 في عملية الكشف عن هبوط الإشارة الرائبوية المستقبلة؟
 - س35) ما الغرض من استخدام مستقبلتين عوضا عن واحدة؟
 - س36) كيف يتم الكثنف عن الهبوط في مستوى إشارة النطاق الأساسى؟
 - س37) ما هي إشارة Pilot ؟

الوحدة الخامسة



الوحدة الخامسة

الحماية النظامية وأجهزتها

1-5 أسس الحماية النظامية 1-5

ليس المقصود بحماية الأنظمة حفظها من الأعطال التي قد تحدث لها،. فحدوث هذه الأعطال أمر لا يمكن التحكم به. ولكن المقصود بحماية الأنظمة. كشف واستدراك العطل الحاصل، والعمل على استمرار وصول إشارة النطاق. الأماسي سواء على نفس القناة الصوتية أو على قناة احتياطية.

وتتباين أسس الحماية النظامية من حيث الطريقة المتبعة الكشف عن, العطل ومن حيث عدد القنوات الاحتباطية المتوفرة للعمل (أجهزة الحماية المفردة وأجهزة الحماية المتحدة) في حال حدوث العطل (أو الهبوط في الأداء) وغير ذلك.

2-5 أجهزة الحماية المفردة وأجهزة الاحتياط

من تسميتها "الحماية المغردة" نستتج عدد قنوات الحماية المستخدمة في حال عطل في النظام. حيث تستعمل قناة حماية واحدة (مغردة) على النحو التالى:

- تحميل حزمة النطاق الأساسي: وتحمل على القناة الاحتياطية في
 حالة للعطل في إحدى القنوات النظامية.
- ب. تحميل نغمة الدليل Pilot : ويتم ذلك في حالة العمل الاعتيادية (لا يوجد عطل في النظام).

ونظام أجهزة الحماية المفردة يستعمل طرق مختلفة من التباين، أي المقارنة بين أكثر من إشارة مستقبلة لتحديد الأعطال (ان وجدت) وتقييم الإشارات حسب مستواها وانتقاء الأقضل منها. ومن طرق التباين المستخدمة مع أنظمة الحماية المفردة:

- 1. أجهزة الاحتياط.
 - تباین التردد.
- التباين الفراغي.
- التباين بواسطة الجمع.

وبالرغم من الاختلاقات بين هذه الطرق إلا أنها تشترك بخاصية واحدة، وهي إرسال حزمة نطاق أساسي واحدة باستعمال مجموعتين متماثلتين من الأجهزة.

واستخدام أجهزة لحتياطية واحدة من طرق التباين المستخدمة. فقد مر في موضوع سابق أن لكل قناة راديوية عدد من القنوات الصوتية العاملة وعدد من القنوات الاحتياطية، ويتراوح عدد قنوات الحماية بين قناة واثنتين (على حسب عرض الحزمة وعدد القنوات العاملة).

ويتم استخدام قنوات الحماية هذه إما لحمل نغمة Pilot التي مسق شرحها، أو عند حدوث عطل في أحد القنوات العاملة الأساسية يتم حمل حزمة النطاق الأساسي منها إلى قناة الحماية.

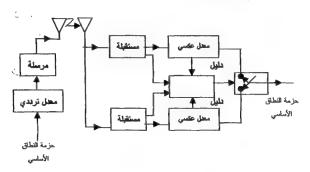
3-5 التبلين التريدي Frequency Diversity

يتم تعديل حزمة النطاق الأساسي من خلال معدلين التبين عوضا عن واحد فقط، حيث تحمل الموجة الأساسية على موجتين حاملتين لكل منهما تردد يختلف عن الأخرى. وعدد الطرف الآخر من النظام يتم استقبال الإشارتين الرابيونين الحاملتين انفس المعلومات، وإجراء عملية التعديل العكسي لهما الاستخلاص الإشارة المحمولة. ويتم المقارنة بين مستوى الإشارتين لتحديد الإشارة ذات المستوى الأعلى.

ففي هذا النوع من النباين تستخدم حزمة نطاق أساسي ولحدة ترسل باستعمال مجموعتين من الأجهزة المتماثلة التي تعمل على ترددين مختلفين.

5-4 التياين الفراغي Space Diversity

ويسمى أيضا بتباين الأجهزة، والمخطط الصندوقي العام لأنظمة التباين الغراغي موضح في الشكل التالي:



وكما هو واضح من المخطط، فإن هذا النظام يستخدم مستقبلتين مستقلتين يفصل بينهما مسافة معينة (ولذلك تسمى هذه الطريفة بتباين الأجهزة أيضا)، ولكل مستقبلة هوائي خاص بها من نفس نوع وحجم ومواصفات وتصميم هوائي المستقبلة الثانية. وقد يوضع إحدى الهوائيين على ارتفاع مختلف عن ارتفاع الهوائي الآخر. وكما نكر سابقا فان محصلة الإثمارات عند الهوائي (الإثمارة المباشرة والإثمارة المنعكمة) يغير بتغير ارتفاع الهوائي أو بعدها عن المرسل. وبالتالي فان مستوى الإثمارة المستقبلة بإحدى الهوائيين يختلف عن مستوى الإثمارة المستقبلة بالهوائي الآخر. وتدخل كل إثمارة إلى معدل عكسي منفصل ثم تقارن الإثمارتين الناتجتين من خلال مقارنة إثمارة الدليل المرافقة لكل واحدة (فكما سبق ذكره ان الهبوط في مستوى إثمارة الدليل Pilot يعطي انطباع عن الهبوط في مستوى حزمة النطاق الأساسي)، ويحدث التالي:

- إذا كان مستوى إحدى الإشارئين منخفض جدا عن الأخرى يتم انتقاء الإشارة الأقوى.
- إذا كان مستوى الإشارتين متقارب يتم جمعهما معا للحصول على موجة أقوى.

ان كلتا الإشارتين مرسلتين على نفس التردد، مما يعطي سيزة لمطريقة التباين الفراغي خاصة مع شدة الطلب على الترددات. كما ان معايرة ارتفاع الهوائيان يعطي وسيلة التعويض عن الاختلاف في المسارين (المباشر والمنعكس).

لن المسافة التي تفصل بين الهوائيين ليست عشوائية وإنما يجب حسابها لتحقيق الوضع الأمثل اطريقة التباين الفراغي. ويتحقق هذا الوضع المثالي بوضع الهوائيين بفاصل يماوي:

$S=3 \lambda R/D$

حيث:

- S : المسافة الفاصلة بين الهوائيين بوحدة المتر.
 - R: قطر الأرض الفعال بوحدة المنر.
 - λ: طول الموجة بوحدة المتر ،

D: قطر الهوائي المستخدم بوحدة المتر.

وعادة ما تعد مسافة ٨ 200 مسافة مقنعة، والهدف من نظام التباين الفراغي هو جعل الفاصل بين هوائبات التباين بحيث تتنشر الموجة المنعكسة مسافة أطول من المسار العادي لها. وعادة ما تستعمل طريقة التباين الفراغي مع أنظمة الاتصالات الثابتة غير المتحركة، وهذا أمر منطقي حيث يتم حساب المسافة بين هوائبي المستقبلتين وتثبيتهم بناء على ذلك.

ويمكن تلخيص مميزات نظام التباين الفراغى بالنقاط التالية:

- 1. لا حاجة لاستخدام ترددات عدة .
- تعتمد الفعالية على المسافة بين الهوائيين.
- الخفوت المتحد ان يحدث بشكل متزامن في الهوائيين، وإشارة قوية بشكل كافي سوف ينتج عن إحدى المستقبلتين.
- استعمال هو انبين على ارتفاعات مختلفة بعطي وسيلة التعويض عن التغير في المسار الكهربائي بين المسارين المباشر والمنعكس بتفضيل الإشارة الأقوى.

مثال1: ما المسافة الفاصلة بين هوائيي نظام التباين الفراغي الذي يستخدم تردد إرسال يساوي 3 GHz ?

الحل:

أولا يجب حساب الطول الموجى للإشارة حسب العلاقة:

$$\lambda = c/f$$

= 3*10⁸/3*10⁹ =0.1m

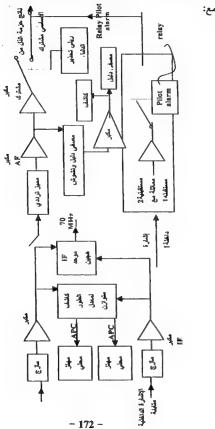
وحيث غالبا ما تعد مسافة ٨ 200 مسافة مقنعة، فقيمتها تساوى:

$$S = 200 \lambda$$

= 200 * 0.1 = 20 m

5-5 التيابن بو اسطة المجمع Combiner Diversity

الشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي الكامل لنظام التباين بواسطة



وكما هو واضح في المخطط الصندوقي، ففي هذا النظام أيضا توجد : مستقبلتين (أو أكثر) عوضا عن مستقبلة ولحدة. ومبدأ عمل هذا النظام يرتكز على استقبال إشارتين متباينتين (أو أكثر) وجمعهم بالصيغة التي تضمن الحصول منهم على موجة أقوى (بالتقليل أو النخاص من فرق الطور ببين الإشارتين قبل جمعهما)، وفي حالة ضعف إشارة بشكل كبير عن الأخرى يتم انتقاء الإشارة الأقوى.

واستنادا إلى مرحلة الجمع في دائرة الاستقبال يتم تصنيف التباين؛ . بواسطة المجمع غالبا إلى صنفين، هما:

أ. الكثف الأولى Pre-Detection : كما هو موضح في المخطط الصندوقي، يتم التقاط الإشارة بأكثر من دائرة استقبال ومن ثم مزجها بإشارة المهتز التحويلها إلى تردد أدنى (الموجة المتوسطة) وبعد ذلك تكبيرها بمكبر IF. يتم التحكم بالطور بواسطة Automatic Phase ثكبيرها بمكبر Control (APC). وفي مرحلة الكثف الأولى يتم جمع الإشارات في مرحلة الأمواج المتوسطة IF للحصول على قوية.

ب. الكشف المتأخر Post- Detection : تعدل الموجة المتوسطة تعديل عكسي لاستخلاص وفصل إشارتي الدليل وحزمة النطاق الأساسي. وفي الكشف المتأخر جمع الإشارتين في مرحلة حزمة النطاق الأساسي.

وتوجد أنواع عدة من المجمعات المستخدمة في أنظمة قياس القنوات الراديوية، هي:

- 1. التجميع الاختياري.
- 2. مجمع الربح المتساوي.
- 3. مجمع النسبة العظمي.

5-6 أجهزة الحماية المتعدة

ما يحدث في أنظمة الحماية المفردة هو إرسال حزمة نطاق أساسي واحدة فقط على تردد واحد أو ترددين باستخدام مجموعتين متماثلتين من الأجهزة يتم استرداد هذه الحزمة بأي من طرق التباين السابق نكرها.

لما في أنظمة الحماية المتعددة فما يحدث هو إرسال أكثر من حزمة نطاق أساسي واحدة (حزمة نطاق أساسي المثليفون وأخرى التلغزيون)، ولابد من توفر قناة حماية المعمل (نقل حزمة النطاق الأساسي) في حال عطل القناة التليفونية أو التلفزيونية. وفي هذه الحالة تكون قناة الحماية مشتركة لكلتا القنائين في حال حدوث عطل أو هبوط في مستوى الأداء لأي منهما.

لقد تم شرح توزيع الحزم الترددية واستخداماتها في وحدة سابقة، بحيث تستخدم كل حزمة ترددية لغرض أو أغراض معينة من التراسل. وتقسم الحزمة الترددية إلى عدد من القنوات الراديوية العاملة التي تحمل بدورها عدد من القنوات الصوتية، ويخصص عدد من قنوات الحماية لكل حزمة ترددية (قناة أو فناتين الحماية لكل حزمة ترددية (قناة أو عنائين الحماية لكل حزمة الحماية في حال حدوث عطل أو هبوط في أداء أي من القنوات العاملة الأساسية وهذا يؤدي إلى توفير في الترددات المستخدمة.

وليس من الضروري ان تكون عدد قنوات الحماية مساوية لعدد القنوات العاملة، فمن غير الطبيعي أو المتوقع أن تتعطل 8 أو 10 قنوات عاملة في نفس الوقت، ولذلك فان قناة أو قناتي حماية تكون كافية لعدد من القنوات العاملة. فعندما نريد الاحتفاظ بأجهزة هواتف لحتياطية الشركة فلا حاجة لعدد مساوي من الهواتف العاملة، وإنما جهاز أو الثنين احتياطيين سيفيان بالغرض باستبدال أي جهاز يتعرض لعطل ما.

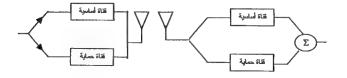
ان نوزيع الحزم الترددية لأنظمة التليفون والتلفزيون (وغيرها) تم سرده في مواضيع سابقة، والحزم التالية تؤخذ كتوضيح للاستعمالات النموذجية فقط:

عد فنوات العماية	عد القنوات العاملة	عدد القنوات الراديوية	مدى الترددات
1	5	6	3.7-4.2 GHz
2	6	8	5.9-6.4 GHz
2	6	8	6.4-7.1 GHZ

يلاحظ من الجدول أن عدد قنوات الحماية يتراوح بين قناة واحدة وقنائين بما يتناسب مع عدد القنوات العاملة.

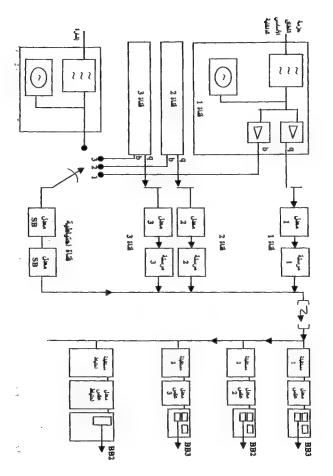
7-5 الاتصالات بين الأطراف Between Terminals

عند التعامل مع قناة عاملة ولحدة تحمل حزمة النطاق الأساسي، فوجود قناة حماية لها لا يستدعي وجود مفتاح تحويل (غلق وفتح) ، فالشكل التالي بوضح أسلوب الربط بين القناة الأساسية وقناة الحماية:



في المستقبلة يتم تعديل الإشارة وانشطارها "ان جاز التعبير" وربط أحد الناتجين مع القناة الأساسية العاملة والناتج الآخر مع القناة الاحتياطية. فحجز قناة الحماية لا يشكل أي مشكلة بحدث لا يوجد قناة حزمة نطاق أساسي أخرى تشارك بها. وذات الفكرة تتطبق على الطرف الثاني من نظام الاتصال ،أي جهة المستقبل حيث توصل الموجة المستقبلة إلى قناة الحماية واللقناة الأساسية.

أما بما يختص بالقنوات الراديوية ذات قناة الحماية (أو قناتي الحماية) المشتركة، فلا بد من استخدام دائرة فتح وإغلاق Switch، لتمكين أي إشارة مرسلة (أو مستقبلة) على إحدى القنوات العاملة من تحويلها إلى قناة الحماية في حال حدوث عطل أو هبوط في أداء القناة، والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي لأملوب عمل قناة حماية مشتركة لعدد من القنوات العاملة:



حيث يوضح الشكل كيفية الربط بين ثلاث قنوات عاملة وقناة حماية مشتركة. ففي الجزء الخاص بالإرسال فكل موجة حزمة نطاق أساسي تمزج مع القناة Pilot وتعدل، ثم تتفرع إلى فرعين أحدهما يوصل مباشرة مع القناة العاملة الرئيسية، والأخرى على مفتاح تحويل (Transmitter Switch (TS) الذي عمل على ربط أي من القنوات العاملة إلى القناة الاحتياطية في حالة الأعطال.

وعلى الطرف الثاني (المستقبلة)، تتم نفس الإجراءات السابقة، حيث توصل الإشارة المستقبلة بعد انشطارها إلى نقطتين، الأولى تمثل الفناة العاملة الرئيسية، والثانية عبارة عن مفتاح تحويل (Receiver Switch (RS)الذي عمل على ربط أي من القنوات العاملة إلى القناة الاحتياطية في حالة الأعطال.

وفي حال استعمال قناة احتياطية واحدة فهذا يعني إمكانية تحويل إشارة نطاق أساسي واحدة فقط عند حدوث عطل في القناة الرئيسية، فإذا ما حدث تعطلين في قناتين رئيسيتين في نفس الوقت فلا يمكن تدارك العطل الثاني منهما. أما بوجود قناتي حماية فيمكن تدارك تعطلين (لا أكثر).

كما أن مفتاحي التحويل (للمرسلة والمستقبلة) يعملان بشكل متزامن لخدمة نفس القذاة وفي نفس الوقت في الإرسال والاستقبال وعند حدوث عطل لا بد من عمل الصيانة الفورية المعالجة اللازمة لعودة القذاة الأساسية للعمل بأسرع وقت ممكن.

5-8 أنواع الاتصالات البينية في الأطراف

ان أنواع الاتصالات البينية للنظام توصف بالرجوع له وبيان عدد قنوات العاملة وعدد قنوات الحماية فيه. وكما تم ذكره سابقا ففي أنظمة الحماية المتعدة حيث يوجد عدد محدد من قنوات الحماية فان تحويل أي من إشارات حزمة النطاق الأساسي إلى إحدى القنوات الاحتياطية أمر يتطلب توفر عبد من المعلومات، هي:

- 1. عطل القناة الأساسية.
- 2. هبوط مستوى أداء القناة الأساسية.
 - 3. عمل القناة بشكل عادي.

وبالتالي يكون عدد المعلومات الولجب نوفرها عن كل قناة عاملة يساوي ثلاث معلومات، فيكون العدد الكلي المعلومات التي نحتاج الإيها يساوي:

عدد المعلومات = عدد القنوات العاملة في النظام * 3

هذا ما يتعلق بالمعلومات الولجب توفرها عن القنوات العاملة في النظام، ومن جهة أخرى يجب توفر معلومات متعلقة بقنوات الحماية في النظام، ففي حالة تأكد حدوث عطل في إحدى القنوات العاملة لا بد من توفر معلومة عن كل قناة حماية إذا كانت شاغرة أم حاملة الإشارة نطاق أساسي لقناة أخرى عاطلة.

فمثلا، في نظام نو 6 قنوات عاملة وقنائين حماية A و B، فان المعلومات الخاصة بالقنوات العاملة الولجب نوفرها وفقا للعلاقة السابقة بساوي= 6* 3- 18 معلومة.

ولكن لا يمثل هذا العدد كل المعلومات اللازمة، فقطبا لو حدث عطل مثلا في القناة العاملة الخامسة فلا يمكن تحويل حزمة النطاق الأساسي التابعة لها على قناة الحماية A دون التأكد من أنها شاغرة فان كانت كذلك يتم تحويل الإشارة (بواسطة محولات الفتح والظلق السابق ذكرها) وإلا يتم التحويل إلى القناة الاحتياطية B (أيضا بعد التأكد أنها شاغرة).

و هذا يجعل المعلومات المطلوبة يساوي = 18* 2= 36 معلومة.

أو كعلاقة فان عند المعلومات الكلي = عند القنوات العاملة في النظام * 3 * عند قنوات الحماية.

هذا العدد سليم من الناحية النظرية، أما عمليا فان المعلومات المطلوبة التي نحتاج إليها يكون لكثر من ذلك ويختلف باختلاف النظام المستخدم.

مثال1: ما عدد المعلومات التي يجب توفيرها عن نظام مكون من 8 قنوات عاملة وقناتي حماية لحتياطيتين؟

الحل:

لكل قناة حماية يكون عدد المعاومات:

عدد المعلومات = عدد القنوات العاملة في النظام * 3

= 8 * 3 = 24 معلومة.

وبالتالي لقناتي الحماية يكون العدد الكلي المطلوب من المعلومات يساوى:

عدد المعلومات الكلي = عدد القنوات العاملة في النظام * 3 * عدد قنوات الحماية

= 24 * 2 = 48 معلومة.

مثال2: ما عدد المعلومات التي يجب توفيرها عن نظام مكون من 6 قنوات عاملة وقناة حماية واحدة؟

الحل:

لكل قناة حماية يكون عدد المعلومات:

عدد المعلومات = عدد القنوات العاملة في النظام * 3

= 6 * 3 = 18 معلومة.

وبالتالي لقناتي الحماية يكون العدد الكلي المطلوب من المعلومات يساوي:

عدد المعلومات الكلي = عدد القنوات العاملة في النظام * 3 * عدد قنوات الحماية

= 18 * 1 = 18 معلومة.

. i

أسئلة الوحدة الخامسة

س1) ما المقصود بأنظمة الحماية؟

س2) ما الفرق بين أنظمة الحماية المفردة أنظمة الحماية المتعددة؟

س3) كم يبلغ عدد قنوات الحماية للأنظمة المختلفة؟

س4) ما الإشارتين المحملتين على قناة الحماية المفردة؟

س5) ما طرق التباين المستخدمة مع أنظمة الحماية المغردة؟

س6) كيف يتم إرسال إشارة Pilot؟

س7) كيف تعمل أنظمة التباين الترددي؟

س8) ارسم المخطط الصندوقي لأنظمة التباين الفراغي.

س9) كيف تعمل أنظمة التباين الفراغي؟

س10) ما الذي يحدث في أنظمة التباين الفراغي إذا كانت:

1. الإشارتين متقاربتين.

2. إحدى الإشاريين تعانى هبوط في المستوى بشكل كبير.

س 11) كم عدد الترددات المستخدمة في :

أنظمة التباين الفراغي.

2. أنظمة التباين التريدي.

س12) ما هي مميزات نظام التباين الفراغي؟

س13) ما المسافة الفاصلة بين هوائيي نظام التباين الفراغي الذي يستخدم تردد إرمال يساوي GHz ؟

- س14) ما المسافة الفاصلة بين هوائيي نظام التباين الفراغي الذي يستخدم نردد لرسال يساوى GHz ؟
 - س15) ارسم المخطط الصندوقي الكامل لنظام التباين بواسطة المجمع.
- س16) استنادا إلى مرحلة الجمع في دائرة الاستقبال يتم تصنيف التباين بواسطة المجمع غالبا إلى صنفين، ما هما؟
 - س17) ما وظيفة (APC) Automatic Phase Control (APC)
 - س18) في أي مرحلة يتم:
 - 1. الكثنف الأولى Pre-Detection
 - 2. الكثيف المتأخر Post- Detection.
 - س19) ما أنواع المجمعات المستخدمة في أنظمة قياس القنوات الراديوية ؟
- س20) ارسم المخطط الذي يبين كيفية الربط بين القنوات العاملة والاحتياطية من خلال مفاتيح الفتح والإغلاق في كل من المرسلة والمستقبلة.
- س21) ما الإجراءات التي يجب أن تنفذ عند حدوث عطل في أحد القنوات العاملة المشتركة مع عدد من القنوات الأخرى بقناتي حماية؟
- س22) ماذا يحدث عند حدوث عطل ثاني في نظام حماية متعددة يستعمل قناة حماية واحدة؟
- مر23) ما عدد المعلومات التي يجب توفيرها عن نظام مكون من 12 قفاة عاملة وقناتي حماية احتياطيتين؟
- س24) ما عدد المعلومات التي يجب توفيرها عن نظام مكون من 8 قنوات عاملة وقناة حماية واحدة؟
- م-25) لن تحويل أي من إشارات حزمة النطاق الأساسي إلى إحدى القنوات الاحتياطية أمر يتطلب توفر عدد من المعلومات، ما هي؟

س26) عدد المعلومات الكلي = عدد القنوات العاملة في النظام * 3 * عدُّد قنوات الحماية.

هل هذا العدد بمثل العدد الفطي الواجب توفره من الناحية العملية؟

الوحدة السادسة



تقنيات وخصائص أنظمة الميكرويف الرقمية

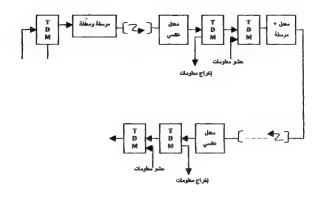
1-6 تشكيلات أنظمة الميكرويف الرقمية

Digital Micro Waves Systems

المسار المبكروي الرقمي ذو طول 2500 Km يتكون من 9 أطراف (محطات) ميكروية مربوطة خلال 9 مصفوفات من أجهزة التجميع الرقمي (TDM) ميكروية مربوطة خلال 9 مصفوفات عبب المواصفات المفروضة من .CCIR CCIR ويتكون أجهزة التجميع الرقمية من درجات عليا. وفي الأنظمة الرقمية تكون البيانات عبارة عن نبضات (0,1)، ويكون معدل سيل البيانات 40 Kbit/sec ويتم في كل مرحلة من مراحل التجميع الرقمي التكلي والنقوية البيانات أو إدخال بيانات، حيث نقوم المستقبلة بالتعديل العكسي والنقوية البيانات ومن ثم تحويلها إلى أجهزة الإرسال. وعند ناتج مجدد الإشارة المحميفة بالنمط الرقمي الأعلى، وعند هذه النقطة يمكن أن يتم أخذ معلومات أو إدراج (حشو) معلومات جديدة إلى النظام، كما يمكن ربط سيل كل أجزاء المعطيات المجمعة نقاطعيا مع المعدل التالي. والحالة الأخيرة لا TDM.

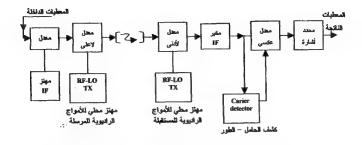
في المستقبلات والمرسلات الرقمية تحدث عمليتي التحديل والتحديل العكسي اما عند التردد الميكروي بشكل مباشر (في أنظمة التعديل المباشر) أو عند الترددات المتوسطة IF (في الأنظمة الهيترودينية).

والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي لمسار راديوي رقمي مفترض:



2-6 النظام الهيتروبيني Heterodyne System

ان الصفة الأساسية الأنظمة الهيترودينية الرقمية (وحتى غير الرقمية) ان عملية التعديل الذي تتم في المستقبلة لا تتفذ على حزمة النطاق الأساسي مباشرة وإنما على الإشارة الرقمية ذات النردد المتوسط IF، وبالتالي يتم رفع تردد حزمة النطاق الأساسي إلى تردد أعلى بواسطة المازج ومواد الترددات IF، ثم يتم مزج الإشارة الرقمية الناتجة باستخدام مواد الترددات الميكروية RF، والشكل التالي بوضح المخطط الصندوقي للأنظمة الرقمية الهيترودينية:

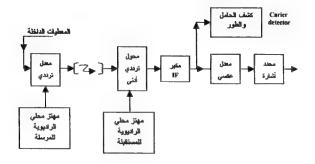


ويتضح من المخطط الصندوقي Block Diagram أن ما يحبث في المستقبلات هو عكس الغطوات التي تم تتفيذها في المرسلات. حيث يتم في المرحلة الأولى تحويل الموجة الميكروية إلى تردد أدنى (التردد المتوسط IF) وتكبير الموجة الناتجة قبل إجراء التعديل العكسي لها المحصول على الموجة الأصلية ذات التردد المنخفض. وغالبا ما يستعمل نوع التعديل العكسي المترابط مواد تردد مساو تماما للتردد الحامل المستخدم في عملية التعديل في المرسلة، وبالإضافة إلى ضرورة تطابق التردد في المعدل العكسي مع التردد الحامل الموجة فلا بد من تطابق الطور أيضا. وأخيرا فان الإشارة المعدلة عكسيا يتم إعادة تخزينها في مجدد الإشارة بشكلها الأسامي.

3-6 نظام التعيل المباشر Direct Modulation Systems

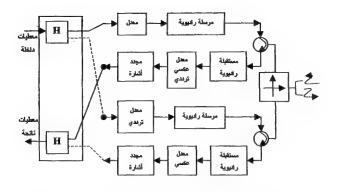
على خلاف الأنظمة الهيترودينية فان أنظمة التعديل العباشر لا يتم رفع تردد حزمة النطاق الأساسي في المرسلة إلى تردد أعلى (التردد المتوسطIF) وإنما يتم تعديل موجة حزمة النطاق الأساسي مباشرة ونرسل الموجة الميكروية. وفي المستقبلة بخفض التردد المبكروي إلى تردد أدنى (التردد المتوسط IF) في مرحلة أولى، ثم تعدل الشارة الناتجة عكسيا الاسترجاع حزمة النطاق الأساسي والتي تخزن في مجدد الإشارة.

الشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي Block Diagram للأنظمة الرقمية ذات مرسلات التحديل العباشر:



6-4 أنظمة الحماية الاحتياطية

لرفع مستوى الكفاءة والاعتمادية النظام الرقمي فلا بد من توفير قنوات الحتياطية الحماية والشكل الحتياطية المحملة والشكل التالي يوضح نظام تباين وفتح وغلق لمحطة نموذجية (قناة عاملة عدد 1 وقناة حماية عدد):



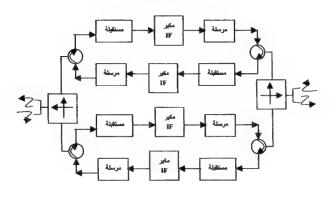
حيث تقوم وحدة الهجين ذلت الاعتمادية العالية Hybrid بشطر إشارة المعلومات إلى وحدتين متماثلتين، حيث توجه الأولى (بالخط الموصول) إلى القناة الرئيمية بينما توجه الثانية (بالخط المتقطع) إلى القناة الاحتباطية. حيث تحتوي كل قناة من الاثنتين من المعدل (معدل منفصل لكل قناة).

وتعمل الدوارات على توجيه الإشارات المرسلة إلى الهوائي وحجزها عن دائرة الاستقبال، و في الوقت نفسه تعمل الدوارات على توجيه الإشارة المستقبلة من الهوائي إلى دائرة الاستقبال دون دائرة الإرسال.

ونربط الإشارات الراديوية النائجة من الدوارات بمصفيات متقاطعة قطبيا والتي تعطي الإشارات ذات التباين الموحد الاستقطاب.

ويتكون المستقبل من الأجزاء السابق ذكرها وشرحها (المخفض للتردد المتوسطة IF والمعدل العكسي ومجدد الإشارة). ومعظم الأنظمة الرقمية الميكروية تستعمل المعيدات المجددة للإشارة (وهي المعيدات التي تمر فيها الإشارة خلال عملية التعديل والتعديل العكسي بمجدد للإشارة) والتي تعد ملائمة للتوافق مع أجهزة TDM لحشو وأخذ المعطيات في ما بعد.

أما المحطات المعيدة للموجة غير المجددة فتعمل مع الأجهزة الهيترودينية كما هو موضح في الشكل التالي:



وتمتاز المعيدات غير المجددة عن المعيدات المجددة بكونها أبسط في تركيبها وبالتالي فهي أقل تكلفة، ولكن بسبب عدم تجديد الإشارة فيها فان تشويهها والتشويش المصاحب لها يتراكم من محطة إلى أخرى.

كما توجد أنظمة رقمية تتألف من قناة احتياطية عدد 1 وقنوات عاملة عدد N تعمل بنظام النباين الترددي والنباين الغراغي (المعابق وصفهم)، وعادة تستعمل أنظمة الحماية والنباين (N+1) مع عدد كبير من القنوات الراديوية عبر مسار تراسل واحد.

System Gain كسب النظام

يمثل كسب النظام مقياس لأداء النظام، ونعطي الصورة العامة عن أبسط تصميم له بناء على المتغيرات التي تربط بينها. وتبين الغرق بين قدرة الإشارة المرسلة وبدء حساسية المستقبلة للإشارة لمعنل خطأ جزئي.

لن عدد من النبضات (bits) تشفر في الإشارة المرسلة، ولن معامل أكثر أهمية من قدرة الحامل له أهمية هو الطاقة لكل نبضة (Energy per Bit (En.) - حيث:

$$E_b = P_t T_b$$

ويمثل:

Eb: طاقة النبضة المفردة (جول لكل نبضة Joul/Bit).

القدرة الكلية للإشارة الحاملة (Watt).

T_b: زمن النبضة المفردة (sec).

وشدة التشويش لها العلاقة التالية:

 $N_0 = N/B = K/T_c$

ويمكن بالتالي إيجاد النسبة بين طاقة النبضة إلى شدة التشويش Energy of Bit to Noise Density

$$E_b/N_0 = (P_c/F_b)/(N/B) = P_cB/NF_b$$

حيث:

.watt/Hz شدة التشويش Natt/Hz

N: قدرة النشويش الكلية watt.

B: عرض النطاق Hz.

K: ثابت بولتز مان °J/K.

 K° درجة الحرارة المكافئة التشويش T_{\circ}

Hz معدل النبضات ويساوي $1/T_b$ بوحدة: F_b

مثال1: انظام له عرض نطاق MHz 10 وقدرة تشويش كلية Ф. 0.0276 pw مثال1: انظام له عرض نطاق مثلة المنابع ودرجة الحرارة المكافئة للتشويش.

الحل:

بالتعويض المباشر في العلاقة أعلاه نحصل على:

 $N_o = N/B$ = 276 *10⁻¹⁶/10*10⁶ = 276*10⁻²³ watt/Hz

وبالتالي يمكن حساب درجة الحرارة المكافئة للتشويش على النحو

التالى:

 $T_e = N_o/K$ =276 *10⁻²³/1.38*10⁻²³ = 200 K°

مستلزمات نطاق الخفوت لاعتمادية نظام محددة

ان معلالة الاعتمادية لبارنيه فيجانات تقرر أقصىي نطاق خفوت يسمح به لاعتمادية نظام سنوية، والمعلالة التالية تعطي الحل لنظام غير محمي وغير متباين:

FM = 30 Log(d) + 10 Log(6A*B*F) - 10 Log(1-R)-70

(1-R): تمثل الاعتمادية الموضوعية لمسار طوله 400 Km

A: معامل الخشونة للأسطح، وتأخذ القيم التالية:

4: للأراضي الملساء وسطح الماء.

1: للأراضى متوسطة الخشونة.

0.25 : للأراضى الخشنة والجبال.

B : معامل التحويل الاعتمادية البيئية الشهرية المنوية، وتأخذ القيم التالية:

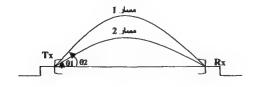
0.5 : للبحيرات الكبيرة أو المساحات المشابهة الرطبة

0.25 : للأراضى المتوسطة.

0.125 : للأراضى الجافة أو الجبال.

6-6 ظاهرة الخفوت المتعد Multi-Path Fading

ان الجو (وهو الوسط الناقل المرشارة المرسلة) يعد وسط غير متجانس، فمن جهة كلما ارتفعنا عن سطح الأرض كلما خف وزن الهواء وبالتالي قلت كثافته ومن جهة أخرى تؤثر السوامل الجوية كالرياح والضغط الجوي والحرارة والرطوبة أيضا على اختلاف معاملات طبقات الجو. تؤدي هذه العوامل المختلفة على اختلاف معاملات الاتكمار الطبقات الجو مما يؤدي إلى انكسار الأمواج المرسلة عند انتقالها من طبقة إلى أخرى، وقد تتعرض الموجة إلى عدة الكمارات كما هو موضح في المثال التالي:



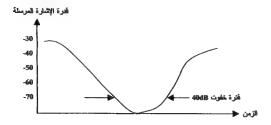
حيث سارت الموجة المنتقلة من المرسلة بمسارين مختلفين باتجاه المستقبلة، وتجمع الإشارات من المسارات المختلفة عند هوائي المستقبلة. ويسبب اختلاف طول المسار الذي تسلكه كل موجة منكسرة فان هنائك فرق طور بين الموجات المجمعة مما يؤدي إلى الحصول على موجة ضعيفة. وتسمى هذه الظاهرة بالخفوت متعدد المسار.

و إحصائيا بمكن ان تكون محصلة اتساع المسارات المجمعة عند هواتي المستقبلة صفرا أو قريبة من الصفر حيث تسمى هذه الظاهرة بالخفوت المتعدد العميق. وقد يتعرض الشعاع في المعار الواحد إلى انكسارات متعددة وقد لا تصل نتيجة ذلك إلى نقطة الاستقبال المطلوبة.

فترة الخفوت المتعد المسار

تعرف فترة الخفوت على أنها الزمن الذي تستمر فيه ظاهرة الخفوت الإشارة دون مستوى معياري L. وتحدد مستويات الخفوت بالديسيبل، أي ان المستوى:

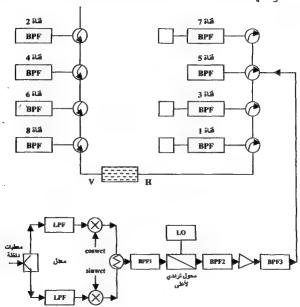
L_{dB} = 20 Log(L) والشكل التالى ببين علاقة الزمن مع القدرة المطلقة للإشارة المستقبلة:



ان فترة الخفوت لا تعتمد على قيمة التردد المرسل وإنما تعتمد فقط على قيمة مستوى الخفوت $\Gamma_{\rm av}=410\,L$ L<0.1

7-6 المستقبلات-المرسلات الرقمية Digital Transceiver

يوضح الشكل التالي المخطط الصندوقي لمرسلة رقمية وأهم الأجزاء المكونة لها:

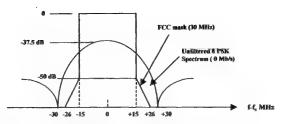


وكما هو واضح فان جميع القنوات المتجاورة متقاطعة استقطابيا Cross .8 GHz .8 وهذه الخطة هي المتبعة في كندا الحزمة الترددية Polarized .8 وتعمل المصفيات على النخلص من المكونات خارج حزمة النطاق الأساسي لتجنب التداخل بين القنوات المتجاورة وفقا لمواصفات وتحديدات الوكالات والهيئات الدولية للاتصالات ، كذلك التقليل من التشويش. والمصفيات المستخدمة هي:

- مصفیات تمریر الترددات المنخفضة (Low Pass Filter (LPF): امرحلة التعدیل الأولى.
- مصفیات تمریر حزمة (Band Pass Filter (BPF1) : امرحلة التربدات المتوسطة IF.
- مصفیات تمریر حزمة (Band Pass Filter (BPF2) المرحلة الترددات الرادیویة قبل مرحلة مكبر القدرة.
- مصفیات تمریر حزمة (Band Pass Filter (BPF3) : امرحلة التربدات الرادیویة بعد مرحلة مكبر القدرة.

والشكل التالي ببين التحكم بالطيف الترددي وعرض النطاق المسموح به من هيئة FCC والذي يساوي FGC ، والذي يبين أهمية المصفيات حيث يلزم تصفية حادة للحصول على حدود الإشعاع PSK المطلوبة

لأجل تجنب التداخل بين القنوات المتجاورة (يجب تحديد عرض النطاق للطيف النرددي المرسل بعرض MHz):



فإذا كان يجب إرسال معطيات بقيمة 90 Mb/sec خلال عرض الحزمة المحددة MHz على الأقل:

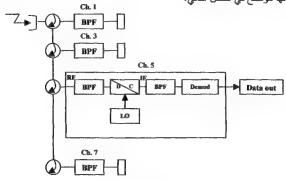
A = BW/ Data = 30 MHz/(90 Mb/sec) = 3 bit/sec/Hz

وهذا يستازم تعديل من نوع M-ARY-PSK حيث M تساوي:

$$M = 2^n = 2^3 = 8$$

أما بالنسبة للمستقبلة الرقمية المتعدة القنوات فان المخطط الصندوقي

لها موضح في الشكل التالي:



كذلك في المستقبلة يستعمل عدد من المصفيات (سواء في مرحلة الترددات المتوسطة أو الراديوية أو بعد التعديل العكسي المحصول على حزمة النطاق الأساسي).

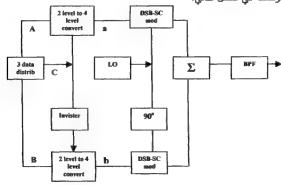
8-6 الأنظمة الرقمية ذات الفعالية العالية بالنسبة لعرض الحزمة

Bandwidth Efficient System

الأنظمة الرقمية التي سنتطرق لها في هذا الجزء من نوع 8 Phase الأنظمة الرقمية التي منتطرق لها في هذا الجزء من نوع 8 Phase ونظام Shift Keying) 8 PSK . Modulation (16 QAM)

1-8-6 أنظمة 1-8-6

ان أنظمة 8-PSK تستخدم غالبا لأنظمة للتراسل ذات سيل المعطيات من Mbit/sec إلى 15 Mbit/sec ، والمخطط الصندوقي لهذه الأنظمة موضعة في الشكل التألي:



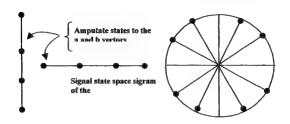
حيث تمثل f_0 معدل المعطيات الرقمية الدلخلة إلى النظام ويقوم موزع البيانات الثنائية (Data Distributor) بشطر المعطيات الدلخلة إلى ثلاثة جداول متماثلة وبالتالي يصبح معدل المعطيات في كل جدول ثلث المعدل الأصلي (أي $f_0/3$). ثم تدخل (نبضة المعطيات الأولى والثانية) و(نبضة المعطومات الثالثة ومعكوس الثانية) كل منهما إلى محول من المستويات الثنائية إلى أربعة مستويات البعطي إحدى الحالات الأربعة الممكنة لإشارة النطاق الأساسي القطبية عند النقط g_0 و وقفا المأسلوب الموضح في الجدول التالي:

الحالة	C	B	A
a and b is -ve, b>a	0	0	0
A is +ve and b is -ve, b>a	0	0	1
A is -ve and b is +ve, b>a	0	1	0
a and b is +ve, b>a	0	1	1
a and b is -ve, b <a< td=""><td>1</td><td>0</td><td>0</td></a<>	1	0	0
A is +ve and b is -ve, b <a< td=""><td>1</td><td>0</td><td>1</td></a<>	1	0	1
A is -ve and b is +ve, b <a< td=""><td>1</td><td>1</td><td>0</td></a<>	1	1	0
a and b is +ve, b <a< td=""><td>1</td><td>1</td><td>1</td></a<>	1	1	1

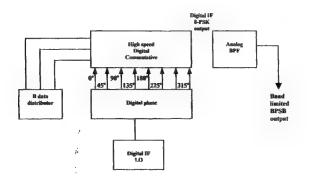
حيث تحدد حالة A الرقمية قطبية الإشارة الخارجة a وبنفس الأسلوب تحدد حالة B الرقمية قطبية الإشارة الخارجة b، بينما تحدد قيمة c1 أي المخرجين فو اتساع أكبر من الأخر بحيث a>b إذا كانت قيمة c1، وc2، إذا كانت قيمة c3.

ان الأربعة مستويات المستقطبة لإشارات النطاق الأساسي تستخدم لتعديل حاملين متعامدين(Quadrature Carrier)) تعديل سعويا من نوع Double Side Bands Suppressed Carrier (DSB-SC).

والمخطط الفراغي لإشارة النطاق الأساسي وإشارة PSK-8 المعدلة موضحة في الشكل التالي:



ويستخدم المعدل 8-PSK نو سيل المعلومات العالية (90 Mb/sec) دوائر منطقية رقمية على النحو الموضح في الشكل التالي:



حيث يقوم موزع المعطيات هذا أيضا بتوزيعها على الجداول الثلاث المتماثلة التي سيكون لها معدل بيانات يساوي ثلث معدل البيانات الدلخلة (f_b/3) كما هو الحال في الدائرة السابقة. بينما يواد المهتر المحلى الترددات العالية التي تمر على الدائرة التي تتتج من الإشارة العالية 8 أطوار مختلفة لتعديل كل حالة من الحالات الرقمية على مدخل المازج نو السرعة العالية على النحو التالي (كمثال):

الطور	المدخلات الرقمية	
0°	000	
45°	001	
90°	010	
135°	011	
180°	100	
225°	101	
279°	110	
315°	111	

يقوم مصفى تمرير الحزمة الترددية BPF على تصفية الإشارة الحاملة 8-PSK للحصول على موجة محدودة عرض النطاق. لكن يهبط أداء هذا النظام بوجود التشويش الأبيض الإضافي أو بوجود تداخل الإشارات.

2-8-6 انظمة 2-8-6

تستعمل أنظمة I6-Ary QAM لمتطلبات أنظمة التراسل ذات الفعالية العالية التي لها معدل سبل معلومات بساوي (4bit/sec/Hz)، حيث:

$$M = 2^n = 2^4 = 16$$

وأنظمة QAM ذات الإشارة المعللة رقميا التي تحمل المعلومات الثنائية في الطور و/أوفي الاتماع يتم الحصول عليها بطريقة مشابهة للسابق نكرها في الموضوع السابق. والشكل التالي يبين المخطط الفراغي لعدة إشارات ثنائية (رقمية) معدلة PSK:

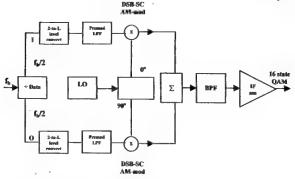
Efficient Digital Radio Systems Handwidth M = 2 M = 4 phase OPSK 4- phase OPSK 4- phase OPSK M = 16-ary Qam (note different values of vector magnitude) states 4-level PAM Gudry DSB-SC-AM

بمكن الحصول على إشارة 8-PSK من جمع إشارتين 3 متعامدتين معدلتين للمستويات الأربعة المحتملة. ولتحقيق فعالية أعلى من bit/sec/Hz و PSK لل Ary-QAM لو PSK و PSK لل المحتملة المحتم

والشكل التالي يبين المخطط الصندوقي لمعدل QAM بدون حامل -QAM)

SC) والذي يسمى "معدل فتح وغلق الطور والانساع Amplitude-Phase":

Keyed



يقوم موزع البيانات الرقمية Data Distribution بتوزيعها إلى جدولين متماثلين، فإذا كان نعدل سيل المعلومات f_b فان هذا المعدل يصبح في كل جدول $(f_b/2)$. ومن ثم يقوم محول المستويات بتحويل البيانات في كل جدول من المستويين إلى المستوى L (الأكبر من 4 للحصول على فعالية أكبر من (3bit/sec/Hz). ويتم حساب معدل الرمز (3bit/sec/Hz) المستويات على النحو التألى:

$$f_s = (f_b/2)/Log_2(L)$$

= $(f_b/2)/Ln(L)$ Sym/sec

ومن المخطط نلاحظ استخدام مصغیات حزمة ترددیة منخفضة LPF، والتي يمكن حساب تردد القطع لها أو أقل عرض النطاق لها بحسب نظریة نایكویست Nyquist Theory) على النحو النالي:

$$\mathbf{BW}_{LPF} = \mathbf{f}_{\mathbf{m}}$$
$$= \mathbf{f}_{\mathbf{s}}/2$$

أما مصفيات الموجات ذات التربدات المتوسطة IF، فعرض النطاق لها يجب أن يساوى ضعف عرض حزمة النطاق الأساسى:

$$BW_{IF} = 2f_{m}$$
$$= 2BW_{LPF}$$

مثال: إذا كان معدل من المصدر يساوي $f_b=10$ Mb/sec ولزم إشارة معدلة بنظام 16 QAM لها فعالية نظرية 4bit/sec، حيث تحول الجداول الرقمية المستبدلة إلى جداول لحزم النطاق الأساسي ذات أربعة مستويات. حد كل مما بأثر،:

- 1. معدل سيل البيانات الرقمية في الجداول.
 - f_s معدل الرمز.
- أقل عرض النطاق المصفيات حزمة ترددية منخفضة LPF.
- 4. عرض النطاق مصغيات الموجات ذات الترددات المتوسطة IF.

الحل:

بالتطبيق المياشر العلاقات أعلاه نحصل على:

- $(f_b/2) = 1$ المعدل يصبح في كل جدول. المعدل
- .5Mb/sec = (10Mb/sec)/2 =
 - 2. معدل الرمز fs يساوي:

$$f_s = (f_b/2)/Log_2(L)$$

= (5Mb/sec)/Log₂(4)

= 2.5 Mb/sec

أقل عرض النطاق المصغيات حزمة ترددية منخفضة LPF
 يساوي:

$$BW_{LPF} = f_m = f_s/2$$

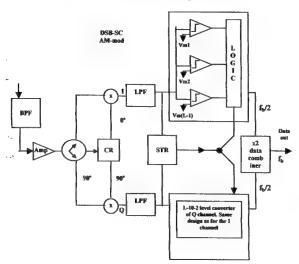
= 2.5/2 = 1.25 MHz

عرض النطاق مصغیات الموجات ذات الترددات المتوسطة IF
 یساوی:

$$BW_{IF} = 2f_m = 2 BW_{LPF}$$

= 2*1.25 = 2.5 MHz

أما بالنسبة للمخطط الصندوقي للمستقبلة الرقمية (المعدل العكسي) لنظام M-Ary QAM



يلزم دو اثر المقارن Comparators بعدد يساوي (L-1) السترجاع التردد الحامل وتردد الرمز f_s ، حيث L عدد مستويات النطاق الأساسي المعدلة. ناتج المقارن نكون:

- مستوى عالى (الحالة الرقعية 1): إذا كان مستوى الإشارة المستقبلة والتشويش أعلى من مستوى البدء Preset.
- مستوى منخفض (الحالة الرقمية 0): إذا كان مستوى الإشارة المستقبلة والتشويش أقل من مستوى البدء Preset.

ونتم التجزئة بمعدل رمز يساوي: $f_s = f_b/(2\ Log_2(L)$

يتم الحصول على مستويين من مستويات ذات العدد I. للحصول على انتج نتائي متوازي ، وتعطى مدلخل موحد المعطيات ((X2)) إشارة نتائية ذات معدل رقمي $f_b/2$ من القناة I وآخر مشابه من القناة Q . ومن ثم يقوم موحد المعطيات بتحويل البيانات الرقمية من التوازي إلى التوالي (لعكس عمل موزع المعطيات في دائرة المعدل) فيتحقق معدل سيل معطيات في هذه المرحلة يساوي f_b .

مثال توضيحي على أنظمة 16-Ary QAM هو نظام الراديو 2 GHz و المصرح له من FCC بعرض نطاق 3.5 MHz والمصرح له من FCC المعطيات الممكنة لهذا النظام تساوي:

 $f_b = 3.5 \text{ MHz} * 4 \text{ bit/sec/Hz} = 14 \text{ Mb/sec}$

لما من الناحية العملية فان معامل انخفاض (1 ←0.3) يؤثر على القيم الحقيقية للنظام. وعلى فرض انه يساوي 0.5، فانه يلزم %50 من قيمة عرض النطاق، وبالتالي نصبح قيمة عرض النطاق النراسل العملي:

(14Mb/sec)/1.5 = 9.33 Mb/sec

والملاحظة الجديرة بالانتباء أن المخطط الصندوقي للمعدل العكسي لنظام QAM مع نظيره لنظام M-Ary-PSK في أُغلبية المكونات الصندوقية، ولذلك يمكن استخدامه التعديل العكسي لإشارة B-PSK أو PSK-16 (بعد بعض التغييرات البميطة في دوائر معالجة الإشارة).

.!'

أسئلة الوحدة الساسة

- س1) ما عدد الأطراف في المسار الميكروي الرقمي ذو طول ؟
- س2) ما نوع المعلومات في الأنظمة الرقمية ؟ وما معدل سيل البيانات؟
- س3) في أي مرحلة تحدث عمليتي التعديل والتعديل العكمي في المستقبلات والمرسلات الرقمية ؟
 - س4) ارسم المخطط الصندوقي لمسار راديوي رقمي.
 - س5) ما الصفة الأساسبة للأنظمة الهيترودينية الرقمية (وحتى غير الرقمية)؟
 س6) ارسم المخطط الصندوقي للأنظمة الرقمية الهيترودينية.
- س7) ما المقصود بالتعديل العكسي المترابط De-Modulation
 - س8) ما الفرق بين الأنظمة الهيترودينية وأنظمة التعديل المباشر الرقمية؟
- س9) ارسم المخطط الصندوقي Block Diagram للأنظمة الرقمية ذات مرسلات التعديل المباشر.
- س10) كيف يتم العمل في نظام تباين وفتح وغلق لمحطة نموذجية (قناة عاملة
 عدد 1 وقناة حماية عدد1)؟
- س11) ارسم الشكل المبين المحطات المعيدة الموجة غير المجددة العاملة مع الأجهزة الهيترودينية ؟
 - س12) بما تمتاز المعيدات غير المجددة عن المعيدات المجددة ؟
 - س13) مع ماذا تستعمل عادة أنظمة الحماية والتباين (N+1) ؟
 - س14) ما المقصود بكسب النظام ؟

- س15) لنظام له عرض نطاق MHz وقدرة تشويش كلية 0.02 pw محدد قيمة شدة الضجيج ودرجة الحرارة المكافئة للتشويش.
- س16) لنظام له عرض نطاق MHz وقدرة تشويش كلية 9.04 pw حدد قيمة شدة الضجيج ودرجة الحرارة المكافئة للتشويش.
- س17) لنظام له عرض نطاق MHz وقدرة تشويش كلية 0.02 nw مدد قيمة شدة الضجيج ودرجة الحرارة المكافئة للتشويش.

س18) ما قيمة معامل الخشونة A للأسطح التالية:

- 1. للأراضي الملساء وسطح الماء.
 - 2. للأراضي متوسطة الخشونة.
 - 3. للأراضى الخشنة والجبال.
- س19) ما قيمة المعامل B لتحويل الاعتمادية البيئية الشهرية لسنوية للأسطح التالية:
 - 1. للبحيرات الكبيرة أو المساحات المشابهة الرطبة
 - 2. للأراضى المتوسطة.
 - 3. للأراضى الجافة أو الجبال.
 - س20) ما المقصود بظاهرة الخفوت متعدد المسار؟
 - س 21) ما المقصود بظاهرة الخفوت المتعد العميق؟
 - س22) ما المقصود بفترة الخفوت؟
 - س23) هل تعتمد فترة الخفوت على قيمة التردد المرسل؟
 - س 24) على ماذا تعتمد فترة الخفوت؟
 - س25) ما قيمة فترة الخفوت إذا علمت أن مستوى الخفوت يساوي 20 dB?

- س26) ارسم المخطط الصندوقي لمرسلة رقمية.
- س27) ما وظيفة للمصغيات في المرسلات المستقبلات الرقمية؟
- س28) ما المصفيات المستخدمة في المرسلات المستقبلات الرقمية؟
 - س29) ارسم المخطط الصندوقي للمستقبلة الرقمية.
- س30) مع أنظمة التراسل التي تستخدم مع أنظمة 8-PSK (ما مدى سيل المعطيات لها)؟
 - س31) ارسم المخطط الصندوقي لدائرة المعدل لنظام 8-PSK ؟ أ
 - س32) ارسم المخطط الصندوقي لدائرة المعدل العكسي لنظام PSK ؟
 - س33) وضح أسلوب عمل دائرة المعدل لنظام PSK-8.
 - س34) ماذا يحدد في دائرة المعدل لنظام 8-PSK حالة:
 - .A .1
 - ·B ·2
 - .C .3
 - س35) ارسم المخطط الفراغي لاشارة R-PSK.
- س36) ارسم المخطط الصندوقي لمعدل QAM بدون حامل (QAM-SC)
 والذي يسمى "معدل فتح وغلق الطور والاتساع Keyed".
- س37) إذا كان معدل من المصدر يساوي f_i=20 Mb/sec ، ولزم إشارة معدلة بنظام QAM لها فعالية نظرية 4bit/sec، حيث تحول الجداول الرقمية المستبلة إلى جداول لحزم النطاق الأساسي ذات أربعة مستويات. جد كل مما يأتي:
 - 1. معدل سيل البيانات الرقمية في الجداول.

- 2. معدل الرمزيf .
- 3. أقل عرض النطاق المصفيات حزمة ترددية منخفضة LPF.
- 4. عرض النطاق مصغيات الموجات ذات التربدات المتوسطة IF.
- س38) إذًا كان معدل من المصدر يساوي f_b=10 Mb/sec ، ولزم إشارة معدلة بنظام 16 QAM لها فعالية نظرية 3bit/sec، حيث تحول الجداول الرقمية المستبدلة إلى جداول لحزم النطاق الأساسي ذات أربعة مستويات. جد كل مما يأتي:
 - 1. معدل سيل البيانات الرقمية في الجداول.
 - 2. معدل الرمز f_s
 - 3. أقل عرض النطاق المصفيات حزمة ترددية منخفضة LPF.
 - 4. عرض النطاق مصغيات الموجات ذات الترددات المتوسطة IF.
- س39) ما تأثير معامل الانخفاض على عرض النطاق للأنظمة العملية من نوع OAM?
- س40) ما المشترك بين المخطط الصندوقي للمعدل العكسي لنظام QAM مع نظيره لنظام M-Ary-PSK ؟

الوحدة السابعة



الرادار Radar

· ...

7-1 مقدمة عن مبدأ عمل الرادار

يمثل الرادار الاستخدام التقايدي للميكرويف، ولقد بدأ العمل به في بداية الحرب العالمية "RADAR" مأخوذة . Second World war مأخوذة من الأحرف الأولى للمصطلح في اللغة الإنجليزية: RAdio Detection ، أي تحديد وكشف المسافة بالأمواج الراليبوية .

وبالإمكان تعريف الرادار بأنه: النظام الكهرومغناطيسي Electromagnetic System الذي يستخدم للكشف عن مواقع الأهداف Targets وتحديد بعدها Distance، ويتم ذلك بإرسال موجة خاصة ترتد عن الهدف راجعة إلى المرسل مرة أخرى (إشارة الصدى)، وتحلل هذه إشارة الصدى للحصول على المعلومات المطلوبة عن الهدف. ومن الموجات المستخدمة لهذا الغرض الموجات الجبيبية (Sin-Waves) المعدلة تعديل نبضي .

ويتميز نظام الرادار بأن نقطة الإرسال ونقطة الاستقبال نقعان في نفس الجهة، والإشارة المستقبلة هي الإشارة المرتدة عن الهدف والتي بالتأكيد تختلف عن الإشارة المستقبلة. وليس الهدف في الرادار الحصول على إشارة مستقبلة مطابقة للإشارة المرسلة وإنما تحليل الاختلاف بين الإشارتين.

ان أبسط أنواع الرادارات هو الرادار النبضي Pulse Radar المستخدم في المطارات والذي يعطى دلالة عن موقع الطائرات من خلال حساب الزمن الذي تحتاجه الموجة الموجهة التصطدم بالطائرة وتعود إلى الرادار وهذه الموجة الموجهة هي كناية عن ضوء ضيق النطاق Doppler Radar أو رادار الموجة المستمرة Line أما عمل رادار دوبلر Doppler Radar أو رادار الموجة المستمرة (CW) يعطي دلالة عن سرعة الأجسام وليس بعدها عن الرادار كالمستخدم من قبل شرطة المرور.

ويمكن القول أن الرادار ذو أهمية كبيرة سواء في وقت السلم أو وقت الحرب الكشف عن الطائرات والآليات الأخرى ضمن حدود معينة.

ومن خصائص الرادار:

- 1. لا يستطيع تحليل وإعطاء التفاصيل مثل العين البشرية: ان شاشة العرض Display للرادار لا تبين شكل الهدف (الطائرة مثلا) وإنما قد نميز الهدف على الشاشة كنقطة مضيئة في إحداثيات معينة دون أي معلومات عن شكل أو نوع أولون أو حجم هذه الطائرة أو حتى ان كان الهدف طائرة أو أي جسم متحرك آخر.
- 2. الهوائي Antenna المستخدم في الإرسال هو نفس الهوائي المستخدم للاستقبال: وهذا أمر منطقي نسبة إلى وظيفة الرادار، فليس الغرض من استخدامه تأمين اتصال بين نقطتين مختلفتين وبالتالي هوائيين مختلفين، وإنما الهدف إرسال إشارة إلى هدف لا ليتم استقبال هذه الإشارة من قبل هذا الهدف وإنما تحليل الإشارة المرتدة عن هذا الهدف من قبل نفس الجهة المرسلة وبالتالي لا حاجة إلا لهوائي واحد فقط (بالرغم من اختلاف دائرة الإرسال ككل عن دائرة الاستقبال ككل).
- القدرة على قياس بعد الهدف (أو مدى الهدف) تصمم دائرة الإرسال والاستقبال في الرادار بحيث تؤدي الغرض الأساسي منه وهي تحديد موقع الهدف.

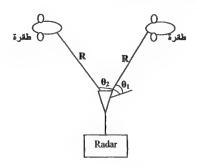
4. إمكانية العمل خلال الظروف غير الاعتيادية: يمكن تصميم الرادار بحيث يتمكن من العمل خلال الظروف الجوية الصحبة كالضباب والأمطار والثلوج وغيرها، وليتمكن من الكثف عن المهدف خلال الظلام أيضا. وبدون إمكانية العمل في هذه الظروف يفقد الرادار أهميته (مثال على ذلك: ما الفائدة من تحديد لختراق طائرة اللغلاف الجوي أثناء النهار إذا لم يكن بالإمكان معرفة حدوث هذا الاختراق في الليل!)

وبعد معرفة طبيعة عمل الرادار يمكن استتناج الشكل الأولمي لمه والذي يتكون من:

- أ. هوائي مرسلة Transmitter Antenna: الذي يقوم بإشعاع Radiation الأمواج الكهرومغناطيسية ذات التردد الميكروي.
- ب. هوائي مستقبلة Receiver Antenna الذي يستقبل الإشارة المرتدة عن الهدف.
- ج. دائرة كشف الطاقة المستقبلة ،P، حيث تختلف إشارة الموجة المرسلة عن إشارة الموجة المستقبلة بسبب الخمارة Losses التي تتعرض لها بعد بثها واصطدامها بالجسم وارتدادها مرة أخرى الرادار. حيث تتشر الموجة المرسلة لمساحة واسعة وجزء منها فقط يصطدم بالهدف ويتم امتصاص جزء من طاقة الإشارة نتيجة الاصطدام ثم ترتد الموجة بجميع الاتجاهات وجزء منها فقط الذي يصل إلى مرة أخرى إلى المستقبلة حيث تمثل طاقة الإشارة المستقبلة ،P ويمعالجة هذه الإشارة يتم تحديد موقع ومرعة الهدف.

7-2 قياس بعد الهدف

ووظيفة الرادار الرئيسية هي تحديد موقع الهدف، وهذا يعني تحديد المدى (البعد) Range والاتجاه Direction وليس البعد فقط .كما هو موضح في الشكل التالي الذي يبين هدفين على نفس البعد من الرادار ولكن باتجاهين مختلفين (وبالتالي موقعين مختلفين):



والإجراء المتبع لتحقيق ذلك هو:

ا<u>. تجديد المدى Range</u>: يتم قياس الزمن الكلي T الذي يلزم الموجة المرسلة لكي تصل إلى الهدف وترند عنه رلجعة إلى الرادار، والذي يساوي : $T=t_1+t_2$

حيث:

t₁: يمثل الزمن الذي تستغرقه الموجة المرسلة للوصول إلى الهدف.
 t₂: يمثل الزمن الذي تستغرقه الموجة المرتدة الوصول إلى الرادار.

ولا يتماوى كلا من t2 وt2 ، ولكن للتبسيط يفرض تملوي الزمن اللازم الموجة المرسلة للوصول إلى الهدف والزمن الذي تستغرقه الموجة المرتدة للوصول إلى الرادار عوبالتالي:

$$T_R = t_1 + t_2 = 2T$$

وبالتالي فان الزمن اللازم لوصول الموجة للهدف يساوي نصف الزمن الكلى المقاس:

$$T = T_R/2$$

وبمعرفة الزمن والسرعة يمكن حساب المدى بالقانون الفيزيائي:

$$R = C * T$$

حيث:

 * : يمثل سرعة للموجة وتساوي سرعة الضوء في الفراغ وتساوي * 3: * 0: $^{$

T_R: الزمن الذي يازم الموجة المرسلة لكي تصل إلى الهدف.

وبالتعويض المباشر لقيمة سرعة الضوء في الفانون أعلاه تصبح العلاقة بالصورة التالية:

$$R = C * T$$
= 3 * 10⁸ *(T_R/2)
= 0.15 T_R

حبث:

R: بعد الهدف بوحدة Km.

. يزمن الوصول إلى الهدف بوحدة T_R

 الزمن الكلي الذي تستغرقه الإشارة من هوائي المرسلة إلى الهدف والعودة إلى هوائي المستقبلة مرة أخرى بوحدة µsec أيضا.

ويمكن التعبير عن علاقة المدى بالزمن أيضا على النحو التالي: $R = 0.08 \, T_{\rm p}$

حيث:

R: بعد الهدف بوحدة nmi.

بهدد بهدف بوحدة T_R . زمن الوصول إلى الهدف بوحدة

من الضروري الكثف عن إشارة الصدى المرتدة قبل إرسال النبضة التالية كي لا يحدث خطأ في قراءة الزمن، وعند قياس ضعف الزمن عوضا عن الزمن الفعلي سيتم حساب المدى بشكل خاطئ ويعد الجسم على بعد مساوي لضعف بعده الحقيقي.

مثال1: إذا كان الزمن الكلي المقاس من قبل الرادار والذي استغرقته إشارة للوصول إلى طائرة والاصطدام بها والارتداد عنها إلى الرادار يساوي 0.01msec، فما بعد الطائرة عن نقطة الرادار:

أ. بوحدة Km.

ب، بوحدة nmi.

الحل:

ان الزمن المقام في هذا المثال هو الزمن الكلي، وبالتالي فان الزمن اللازم للوصول للهدف هو نصف هذه القيمة وتساوي:

> $T_R = T/2$ = 0.01/2 = 0.005 msec = 5 µsec

وبالتعويض المباشر الآن لهذه القيمة (بوحدة μsec) في معادلتي المدى نحصل على:

أ. بوحدة Km :

 $R = 0.15 T_R$ = 0.15 * 5 = 0.75 Km

ب. بوحدة nmi :

 $R = 0.08 T_R$ = 0.08 * 5 = 0.4 nmi

مثال2: إذا كان البعد الحقيقي الطائرة عن قاعدة الطائرات يساوي 1.5 Km ولكن تم قياسه من رادار على أنه يساوي 1.2 Km فما قيمة الخطأ في قياس الزمن ؟

الحل:

نحسب الزمن الفعلى والزمن المقاس ونجد الفرق بين القيمتين:

أ. الزمن الفعلى:

تحسب قيمته من المدى الحقيقي الطائرة وفقت المعادلة المدى:

> $T_R = R/0.15$ = 1.5/0.15 = 10 µsec

> > ب. الزمن المقاس:

تحميب قيمته من المدى المقاس الطائرة من قبل الرادار وفقت لمعادلة المدى:

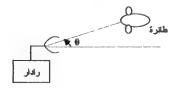
> $T_R = R/0.15$ = 1.2/0.15 = 8 µsec

وبالنالي فان الفرق d بين الزمن الحقيقي والزمن الذي تم قياسه في الرادار:

 $d = 10 - 8 = 2 \mu sec$

ان هذا الفرق البسيط في القيمة الزمنية (جزأين من المليون من الثانية) سبب خطأ في تقدير بعد الطائرة بقيمة 300m، أو بنسبة خطأ 20%.

2. تحديد الاتجاه Direction : يتم تحديد اتجاه الهدف بالنسبة للرادار بتحديد الراوية angle التي يشكلها خط البعد (المدى) مع الأفق Horizon، كما مبين في الشكل التالى:



وتحدد من زاوية الموجة المنعكسة عن الهدف المرتدة إلى هوائي المستقبلة في الرادار. وعادة تستخدم موجات ذات حزم ضيقة لحساب الانتجاه.

7- تنبنب وعرض النبضة Frequency of the Pulse

عندما يرسل هوائي الرادار النبضة يجب أن ينقضي زمن كافي يسمح لإشارة الصدى بالعودة إلى هوائي المستقبلة. وكما نكر سابقا، من الضروري الكشف عن إشارة الصدى المنعكسة والمرتدة عن الهدف قبل إرسال النبضة الثالية كي لا يحدث خطأ في قراءة الزمن الضروري لتحديد المدى. وبناء على ذلك فان معدل الموجة النبضية المرسلة بتحدد بأطوال المدى المتوقع وجود الأهداف عندها. وإذا كان معدل التردد التكراري النبضات عالى فمن الممكن ان تصل إشارة الصدى عن بعض الأهداف بعد إرسال النبضة الثانية ويحدث التباس في قياس الزمن (بأن يحسب بين لحظة إرسال النبضة الثانية ولحظة وصول إشارة الصدى، بالرغم من أن الزمن الحقيقي، في هذه الحالة، يكون بين لحظة إرسال النبضة الأولى ولحظة وصول إشارة الصدى).

ويسمى الصدى الذي يصل إلى هوائي المستقبلة في الرادار بعد إرسال النبضة الثانية "Second Time Around Echo" أو "Second Time Around Echo" أن هذا الصدى يسبب الخطأ في تقدير مدى الهدف إذا لم يتم التعرف أنه Second Time Around Echo. حيث يعد الزمن المقاس أقل من الزمن الحقيقي وبالتالي فان قيمة المدى المحسوبة ستكون أقل من القيمة الحقيقية لنحد الهدف.

ويسمى المدى، الذي يبين بعد الهدف وفق إشارة الصدى Second ، بأقصى مدى غير غامض (غير ملتبس فيه Time Around Echo)، ويعطى وفق العلاقة التالية:

 $R_{un} = C/(2F_f)$

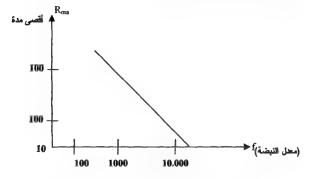
حبث أن:

R_{un}: يمثل أقصىي مدى غير غامض (غير ملتبس فيه unambiguous) بوحدة المتر m.

C: يمثل سرعة الضوء في الفراغ ويساوي m/sec 3 * 108 m/sec

F: يمثل معثل تردد النبضات التكراري (Hz).

ومن المعادلة يتضح أن العلاقة بين بأقصى مدى غير غامض R_{un} بين معنل نردد النبضات التكراري F_1 هي علاقة عكسية، فكلما زاد معدل التردد يقل المدى. والشكل التالي يوضح هذه العلاقة:



أما بالنسبة الشكل الموجة المستخدمة من قبل الرادار، فانه يرمل أمواج معدلة Modulated Waves بنبضات بسيطة، ويستخدم أنواع التعديل Multiple Time Around Echoātian التي تساهم في حل مشكلة (حامل نبضي) ذات التردد الميكروي تعدل تعديل ترددي (Phase Modulation)، أو تعديل طوري (Frequency Modulation)، لغرض ضغط الإشارة المرتدة (إشارة الصدى) زمنيا بعد الاستقبال في هوائي المستقبل للرادار.

تضغيط النبضات هي طريقة تستخدم فيها نبضة معدلة طويلة الحصول على تحليل النبضة قصيرة وكن بطاقة نبضة طويلة. ويستغاد من هذه الطريقة في تحليل المسافات البعيدة (المدى الكبير) High Range Resolution بدون الحاجة لنبضة قصيرة.

ويمكن استعمال الأمواج المستمرة (Continuous Waves(CW) اليمث نبضية) المعدلة تعديل ترددي FM أو تعديل طوري PM لقياس المدى التحقيق ما يلى:

أ. فصل الصدى المستقبل من الإشارة المرسلة.

ب. فصل الصدى من الضوضاء المتراكمة والثابئة (Stationary . Clutter.

Doppler ويتم تحقيق ذلك من خلال الاستفادة من ميزة إزاحة دوبلر lbppler التي سيتطرق لها الكتاب في ما بعد.

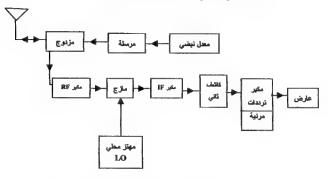
وبتشفير Coding الإشارة المرسلة من هوائي المرسلة Transmitter - Receiver بسهل التعرف عليها عند عودتها إلى هوائي المستقبلة Receiver ممالة Antenna. وتختلف طريقة التشفير باختلاف الرادار المستخدم (أو بمعنى آخر نوع الإشارة التي يستخدمها الرادار)، ويتم التشفير على النحو التالي:

- في الرادارات النبضية Pulse Radar : الإجراء المتبع في هذه الرادارات هو إرسال الأمواج الميكروية على هيئة نبضات، وقياس الزمن من لحظة إصدارها وإلى لحظة استقبال إشارة الصدى. ويعود تسمية هذه الرادارات إلى شكل الموجة الممتخدمة فيها.
 - 2. في رادارات الأمواج المستمرة Continuous Waves Radar : يتم في هذه الرادارات إرسال أمواج ميكروية متغيرة التردد، حيث يتم التغير المستمر والمعلوم القيمة لتردد الموجة المرسلة ومن ثم المقارنة بين تردد الموجة المرسلة وتردد الموجة المستقبلة وتحليل الإشارتين للحصول على قيمة المدى للهدف.

4-7 المخطط الصندوقي للرادار Block Diagram of Radar

من المتوقع فرق أساسي وكبير بين المخطط الصندوقي Block لنظام الرادار والمخطط الصندوقي Diagram لنظام الرادار والمخطط الصندوقي لأنظمة الاتصالات بشكل عام. والمسبب في ذلك أن نقطة الإرمال والاستقبال في نظام الرادار تقعان في جهة واحدة وهوائي الإرسال هو نضعه هوائي الاستقبال.

والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي للرادار:



وتشكل كل من {المعتل النبضي Pulse Modulator، المرسلة، والهوائي، أجزاء دائرة الإرسال ، بينما تشكل كل من {الهوائي، المكبرات، المازج، المصافي، الكاشف، والعارض} أجزاء دائرة الاستقبال للرادار والذي غالبا ما يكون من النوع السوير هيتروديني. ولكل جزء من هذه الأجزاء وظيفة معينة يقوم بها، وفي ما يلي تعريف بكل جزء في نظام الرادار:

المرسلة Transmitter : قد تتكون من مهتر بولد ترددات ميكروية (مثل Magnetron الأكثر شيوعا بين موادات الأمواج الراديوية)، حيث يتم إنتاج قطار من النبضات المنتابعة.

ان الرادارات النموذجية التي تستخدم للكشف عن الطائرات في مسافات نتراوح بين (100-200 nmi) تستخدم نبضات ذات عرض يساوي أجزاء من المليون من الثانية ومعدل نبضة تكراري عدة منات من النبضات في الثانية الواحدة. ويمكن أن تبلغ القيمة القصوى لقدرة الإشارة المولدة المليون واط، أو متوسط قدرة يساوي عدة آلاف واط (Kilo Watts).

- 2. الهوائي Antenna : لنظام الرادار هوائي واحد للإرسال والاستقبال. وبالتالي فان وظيفة الهوائي هنا إشعاع الموجة المرتدة عن الهدف الناتجة من المرسلة إلى الفراغ، واستقبال الموجة المرتدة عن الهدف الراجعة إلى الرادار.
- 6. المزدوج Duplexer : يقوم بحماية المستقبلة من القدرة العالية Duplexer للإشارة الخارجة من المرسلة وتوجيهها فقط إلى الهوائي، حيث تصمم دوائر الاستقبال العمل مع قدرة الإشارات المستقبلة وهي عادة قدرة قليلة تكبر من خلال المكبرات اللاحقة في المستقبلة. ومن جهة أخرى تحويل الإشارة المستقبلة (المرتدة عن الهدف) إلى المستقبلة دون المرسلة. ويتكون هذا المزدوج من قطعتين مفرغتين من الغاز :
- أ. قطعة إرسال استقبال (TRansmit Receive (TR) : وهي
 المسؤولة عن حماية المستقبلة أثناء عملية الإرسال من خلال توجيه
 الإشارة المرسلة نحو الهوائي دون دائرة الاستقبال.

ب. قطعة عكس الإرسال والاستقبال Anti Transmit-Receiver ب (ATR): وظيفته توجيه الإشارة التي يلتقطها الهواثي نحوداثرة الاستقبال وحجزها عن دائرة الإرسال.

كما وتستخدم أيضا دوارات Circulators وحاميات المستقبلة مع باقي أدوات TR والو محددات من خلال استعمال الوصلة الثنائية Diodes كمزدوجات Duplexers.

4. مكبر (RF) Radio Frequency (RF): يمثل المرحلة الأولى في دائرة الاستقبال في الرادار ويكون من النوع الحساس التشويش على ذلك (Parametric Amplifier) أو (ترانزيستور حساس التشويش البسيط. ويقوم بتكبير قدرة الإشارة المستقبلة بواسطة الهوائي.

ويعد استخدام مكبر حساس للتشويش في المرحلة الأولى الرادار أمر غير مرغوب فيه خاصة في التطبيقات العسكرية التي تكون مصحوبة عادة بوسط صاخب وضوضاء عالية، وبالتالي تكون قدرة إشارة التشويش Noise عالية وتنافس في قوتها إشارة الصدى المطلوبة.

- 5. المهتز المحلي Local Oscillator :توليد موجة ذات تردد عالي لغرض مزجها بالإشارة المستقبلة والحصول على الإشارة ذات التردد المتوسط (الإشارة المتوسطة Intermediate Waves).
- 6. المازج Mixer: مزج إشارة المهنز المحلي LO بالإشارة المستقبلة والحصول على الإشارة ذات التردد المتوسط FIF والذي تتراوح قيمته بين (30-60MHz). (نلاحظ أنها قيمة كبيرة لتردد متوسط إذا ما قورنت بالتردد المتوسط الأنظمة البث الإذاعي والذي تتراوح بين 550-455).

ومن خصائص مدخل المازج المستخدم في أنظمة الرادار:

- أ. نو مجال ديناميكي كبير.
 - ب. أقل عرض للحمل الزائد.
- ج. أقل عرض للنداخل الإلكتروني.
- 7. مكبر الموجة المتوسطة (التي تتراوح بين IF Amplifier : هو مكبر نموذجي يعمل عند الترددات المتوسطة (التي تتراوح بين MHz)، وبعرض نطاق يساوي BW=1 MHz. ويقوم بتكبير موجة الترددات المتوسطة الناتجة من المازج.

ويصمم مكبر الموجة المتوسطة IF بضمائص المصفى المتوافق بحيث يزيد منحنى الاستجابة المكبر (H(f) من قيمة أقصى قيمة للإشارة إلى متوسط قدرة التشويش Noise على المخرج، ويتم ذلك في حال تساوي كل من انساع الطيف الترددي Spectra لإشارة الصدى وانساع منحنى الاستجابة المكبر.

- الكاشف الثاني Detector : يقوم باستخلاص النبضة المعدلة Modulating Pulse
- مكبر الترددات المرئية Video Amplifier : تكبير النبضة الناتجة من المرحلة السابقة إلى المستوى الكافي لعرضها على شاشة العرض الخاصة
- 10. العارض Display : تحويل الإشارة الكهربائية إلى إشارة مرئية نتتاسب مع طبيعة ذلك العارض، والذي يكون راسم كهربائي أو راداري. ونترود إشارات الوقت للمؤشر Pointer لإعطاء المدى الصغري. كما يتم المحصول على القيمة الزلوية من اتجاه التأشير الهوائي.

7-5 معلالة الرادار الأساسية Radar Equation

ان معادلة الرادار الرئيسية هي المعادلة التي تربط أقصى مدى يستطيع الرادار قياسه، وربط قيمته بالعوامل المؤثرة فيه. ويمكن تلخيص هذه العوامل:

- 1. قدرة الإشارة المرسلة P.
- 2. قدرة الإشارة المستقبلة Pr.
- كسب الهوائي G (المستخدم للإرسال والاستقبال) والمساحة الفعالة Aperture Area.
 - نوع الهدف وحجمه.
 - 5. العوامل المحيطة (مثل العوامل الجوية).
 - 6. التردد المستخدم (أو الطول الموجي).

وتتحقق الفوائد التالية من معادلة الرادار الرئيسية:

- أ. تعد طريقة التحديد قيمة المدى القصوى الذي يستطيع الرادار الكشف عن الأهداف عندها.
 - 2. يعتمد على هذه المعادلة في تصميم الرادار Design
- تعطي المعادلة فكرة عن العوامل المؤثرة في القيمة القصوى المدى
 كما تسهل فهم وشرح طبيعة عمل الرادار.

وفي البداية نعرف الهوائي Isotropic ، فهو الهوائي الذي يقوم بإشعاع Radiation الطاقة بالتساوي في جميع الاتجاهات ويشكل منتظم. ويتم عادة مقارنة أي هوائي نسبة لهوائي Isotropic.

وكما ذكر في موضوع سابق فان العلاقة عكسية بين شدة المجال والمسافة، أو بكلمات أخرى فان العلاقة بين كثافة القدرة (watt/m²) المدال المرسلة من الرادار عند نقطة معينة تتناسب عكسيا مع

مريع البعد عن تلك النقطة وطرديا مع قيمة القدرة المرسلة، حسب العلاقة -التالدة:

Intensity = Transmitted Power / Area = $P_t / 4\pi R^2$

حيث:

Pt : تمثل القدرة المرسلة من الرادار بوحدة watt.

R : تمثل المسافة بين الرادار والنقطة المحسوب عدها الكثافة I،
 بوحدة m.

مرة أخرى، أن العلاقة أعلاه صحيحة عند الحديث عن الهوائي موحد الخصائص Isotropic، أما عند الحديث عن هوائي موجه والذي يعمل على توجيه الموجة باتجاه معين (وليس التوزيع المنتظم للطاقة في جميع الاتجاهات) فيجب حساب كسب ذلك الهوائي المستخدم.

ويعرف كسب الهوائي (Gain (G) بأنه: النسبة بين القدرة المشعة. Radiation Power من الهوائي في انجاه معين والقدرة المشعة من هوائي Isotropic في نفس ذلك الانجاه (والذي يمثل بالطبع انجاه الهدف). أوأنه النسبة بين أقصى كثافة إشعاع من الهوائي الموجه وكثافة الإشعاع من هوائي isotropic عديم الفقد ذو نفس القدرة الدلخلة، أي أن المرجع المثالي الذي نقارن به فعالية أي هوائي عادي.

ان المقصود بكثافة الإشعاع هو القدرة المشعة لكل وحدة زلوية angle باتجاه معين وبذلك فان كثافة القدرة عند الهدف من هوائي له كعب إرسال يساوى:

 $G = 4\pi A / \lambda^2$

حيث:

G: كسب الهوائي.

A: المساحة الفعالة للهوائي بوحدة m.

m بوحدة (c/f) بوحدة λ

وبالتالي يمكن إعادة صياغة قانون شدة للقدرة المرسلة من هوائي موجه عند نقطة تبعد مسافة R على النحو التالي:

 $I_1 = P_t *G/4\pi R^2$

وهي شدة المجال الإشارة عند اصطدامها بالهدف على بعد يساوي R. ونتيجة الاصطدام تفقد الإشارة جزء من قدرتها، ويقوم الهدف بعكس الإشارة مرة أخرى إلى جميع الاتجاهات ولكن بقدرة أقل من القدرة المرسلة (بسبب الاصطدام). وهكذا يصبح الهدف باعث جديد للإشارة المنعكسة، وإذا عرفا 8 Radar Cross Section على أنها مقياس القدرة الساقطة المصطدمة بالهدف والمنعكسة عنه، فيمكن معرفة كثافة قدرة الإشارة المشعة من الهدف عند أي مسافة R1 على النحو التالي:

 $I_2 = (P_t G/4\pi R^2)^* (\delta/4\pi R_1^2)$

وبالتالي يمكن معرفة شدة الإشارة التي سترند عن الهد وتصل مرة أخرى للهوائي، حيث تتساوى المسافتين (المسافة من الرادار إلى الهدف تساوي المسافة من الهدف إلى الرادار)،أي أن :

 $R=R_1$

وبالتالي نصبح علاقة كثافة القدرة عند الرادار بعد الارتداد: $I = (P_t G/4\pi R^2)^* (G \, \delta/4\pi R^2) \\ = P_t G \, \delta / (4\pi R^2)^2$

وبما ان كثافة القدرة تسوي نسبة القدرة إلى المساحة، فيمكن القول ان القدرة المستقبلة عند الرادار تساوي:

 $P_r = I*A$

حيث:

.Pr قدرة الإشارة المرتدة عن الهدف عند وصولها إلى الرادار مرة أخرى ووحدتها watt.

ا: كثافة القدرة ووحدتها Watt/m².

 (A_c) المساحة ووحدتها m^2 . (المهم هو المساحة الفعالة A

وبالتعويض بعلاقة كثافة الموجة عند الرادار، تصبح العلاقة على النحو التالم.:

 $P_r = P_t G \, \delta \, A_e / (4\pi R^2)^2$: وبالتالي فان علاقة المسافة بالساصر الأخرى نكون $R = (P_t G \, \delta \, A_e / P_t (4\pi)^2)^{1/4}$

فإذا ما عرفنا أقصى مدى على أنه لمبعد مسافة نستطيع الكشف عن الأهداف عندها، فان ذلك يحدث عند أتل قدرة مرسلة ،P ، (حيث العلاقة عكسية بين المدى والقدرة المرسلة). فتصبح معادلة الرادار:

 $R_{max} = (P_t G \delta A_c / S_{min} (4\pi)^2)^{1/4}$

أي أن العوامل المهمة للمعادلة هي كمنب الهواتي في الإرسال ومساحة المساحة الفعالة في الاستقبال. ويمكن إعادة كتابة هذه المعادلة بالتعويض عن الكسب بمعادلته فتصبح الصيغة النهائية لمعادلة الرادار مرة بدلالة A ومرة بدلالة X:

 $R_{\text{max}} = (P_t \delta A_c^2 / S_{\text{min}} (4\pi) \lambda^2)^{1/4}$ = $(P_t G^2 \delta \lambda^2 / S_{\text{min}} (4\pi)^3)^{1/4}$

- من هذه المعادلة يمكن تحديد العوامل المؤثرة على أقصى مدى للرادلر على النحو التالي:
- يتناسب أقصى مدى للرادار R تناسب طرديا مع الجنر الرابع مع أقصى قيمة لقدرة النبضة المرسلة من هوائي الرادار P_t^{1/4}.
- 2. مع بقاء الطول الموجي ثابت يتناسب أقصى مدى تناسب طرديا مع الجذر التربيعي للمسلحة الفعالة لهوائي الاستقبال، وبالثالي يزيد المدى إلى الضعف مثلا بزيادة قطر الهوائي المستقبل إلى الضعفين. كما يمكن القول أنه بتثبيت قطر الهوائي للمستقبل فإن المدى يتناسب عكسيا مع الجذر التربيعي للطول الموجى للنبضة المرسلة.
- كلما ازدادت مساحة الهدف كان الكثر وضوحا وكان من الأيسر الكشف عنه على مسافات بعيدة.
- يعتمد أقصى مدى على مساحة الهدف، فكلما كان الهدف أكبر كان من السهل الكشف عنه ولو غلى مسافات بعيدة.
 - 5. يؤثر التدلخل الأرضي على أقصى مدى Ground Interference.
- التشويش، حيث يحدد أقل قدرة الإشارة المدى التي يستطيع المستقبل في الرادار تمييزها.
- كسب الهوائي G ، نتيجة التعامل مع هوائي موجه فان قدرته على تركيز الطاقة في حزمة ضيقة صوب الهدف تؤثر في قيمة المدى القصوى.
- وبالتأكيد يؤثر صفاء الجو ووضوح الرؤية يؤثر تأثير كبير، فبوجود الضباب والثلوج تحجب الرؤية ولو على مسافات قليلة في بعض الأحيان.

مثال1: إذا أردنا زيادة أقصى مدى الرادار إلى الضعف، فإلى أي قيمة يجب ان نرفع قدرة النبضة المرسلة؟ (على فرض تثبيت باقي القيم الأخرى المؤثرة على المدى)

الحل:

بتثبيت باقي القيم وانفرضها k يمكن إعادة كتابة المعادلة على النحو التالي:

 $R_{\text{max1}} = (P_t G \delta A / S_{\text{min}} (4\pi)^2)^{1/4}$ $= k(P_{t1})^{1/4}$

فإذا أردنا زيادة أقصى مدى لرادار إلى الضعف:

$$\begin{split} R_{\text{max2}} &= 2 \ R_{\text{max1}} \\ &= k (P_{12})^{1/4} \\ &= 2 k (P_{11})^{1/4} \end{split}$$

وبأكثر نسبة المدى الثاني إلى الأول نجد:

 $\begin{array}{c} R_{\text{max2}} / R_{\text{max1}} = 2 \\ k(P_{t2})^{1/4} / k(P_{t2})^{1/4} = 2 \\ (P_{t2})^{1/4} / (P_{t2})^{1/4} = 2 \end{array}$

وبالتالى فان القدرة الجديدة:

 $P_{t2}^{1/4} = 2P_{t1}^{1/4}$ $P_{t2} = 16 P_{t1}$

أي لمضاعفة المدى مرة يجب مضاعفة القدرة المرسلة 16 مرة.

مثال2: احسب أقصى مدى يستطيع رادار تمييز هدف عنده، إذا علمت أن كسب هواني لارادار يساوي 20 وقيمة δ تساوي δ والمساحة الفعالة لهواتي الاستقبال $20~{\rm m}^2$ ، وأقصى قيمة القدرة المستقبلة تساوي μ 100 بينما قدرة الإثنارة المرسلة تساوي $100~{\rm watt}$.

الحل:

بالنعويض المباشر في معادلة الرادار نحصل على أقصى مدى:
$$R_{max} = (P_t G \delta A_c / S_{min} (4\pi)^2)^{1/4} \\ = (100*20*5*20/0.1*10^{-6*} (4\pi)^2)^{1/4} \\ = 335.5 \text{ m}$$

مثال3: إذا كانت المساحة الفعالة لهوائي 20m² وكسبه 40dB وقدرة الإشارة المرسلة 9w وأقل قدرة للإشارة المستقبلة 0.3uw. قيمة δ تساوي1، لحسب أقصى مدى للرادار في هذه الحالة.

الحل:

أو لا يجب تحويل القيمة اللوغاريتمية لكمب الهوائي قبل تعويضها في المعادلة:

 $G = Log^{-1}[G_{dB}/10]$ $= Log^{-1}[40/10]$ = 1000

يمكن الأن التعويض المباشر في معادلة الرادار: $R_{max} = (P_t G \delta A_c S_{min} (4\pi)^2)^{1/4}$ = $(9*1000*1*20/0.3*10^{-6*}(4\pi)^2)^{1/4}$

= 248 m

مثال4: ما بعد الهدف عن الرادار في المثال السابق، إذا كانت قدرة الإثنارة المستقبلة يساوي 0.1mw؟

الحل:

يمكن إيجاد المدى من العلاقة الأصلية المشتقة: $R = (P_1 G \delta A_0 / P_1 (4\pi)^2)^{1/4}$ $= (9*1000*1*20/0.1*10^{-3}*(4\pi)^2)^{1/4}$ = 58.1 m

العوارض Displays

يمثل العارض Display وسيلة تقديم المعلومات المرتبة الرادارية بشكل مناسب لتحليل العامل وتتشيط المعلومات المحتواة في إشارة المدى للرادار. وعندما يتم وصل العارض Display مباشرة إلى ناتج الفيديوفان هذا هوالنوع التقايدي للعرض الراداري في المستقبل وتسمى المعلومات المعروضة في هذه الحالة Raw Video.

وعندما يعالج أولا ناتج الفيديو في المستقبلة بكاشف أتومانيكي أو كشف آلي ومعالج ماسح Tracking Processor) ((ATD)، فإن الذاتج المعروض يدعى في بعض الأحيان Synthetic Video .

ويوجد من العوارض Displays نوع مختلف من أنواع العرض والتقديم للإشارة المرتبة، يمكن وصفهم على النحو المختصر التالي:

- A Deflection Modulated) عارض تعديل الاتحراف (A-Scope .1 عارض تعديل الاتحراف المؤشر للعارض مع شدة البعد عن الهدف، بينما ينتاسب المحور الأقني مع المدى قبله.
- B-Scope .2 عارض مستطيل انتحيل الكثافة B-Scope .2 عارض مستطيل انتحيل الكثافة B-Scope .2 الدوء من Intensity Display الحوارض (Azimuth Angle) زاوية السمت، بينما يمثل المحور العمودي بعد الهدف عن الرادار (المدى).

- محبث يمثل المحور الأفقي (Azimuth Angle) لهذا العارض زاوية السمت، بينما يمثل المحور العمودي زاوية الارتفاع (Elevation).
- 4. Rough تيتم في هذا العارض إعطاء تقدير غير دقيق (Rough) المسافة على المحسور العمودي نتيجة الإشارات والنبضات الرادارية (Blips)، وهو يماثل العارض من نوع C-Display.
- 5. E-Scope هو أيضا عارض مستطيل لتعديل الكثافة حيث يمثل المحور الافقي المسافة بينما يمثل المحور العمودي زاوية الارتفاع (Elevation) (وهويماثل نظام Rh1 في ذلك حيث يمثل ارتفاع المهدف على المحور العمودي).
- 6. F-Scope : يظهر الهدف على هذا العارض المستطيل حيث كإشارة أو نبضة مركزية عندما يوجه هوائي الرادار عليه (Aiming) وأن الخطأ في التصويب الغمودي يشار له بالإزاحة الأفقية والخطأ في التصويب الأفقي يشار له بالإزاحة المعمودية للاشاره أو النبضة الرادارية (Blip) .
- 7. G-Scope عارض مستطيل حيث يظهر الهدف كإشارة أو نبضة رادارية مركزية جانبية (Laterally Blip) عندما يوجه الهوائي بزاوية الهدف بزاوية سميته .
- 8. H-Scope هو B- Scope معدل ليضمن إشدارة عن زاوية الارتفاع (Angle Of Elevation) ويظهر الهدف كتبضئين أو إشارتين رداريتين متقاربتين جدا والتي تقرب خطباهر Bright قصير حيث ان ميله ينتاسب مع جيب زاوية ارتفاع الهدف.
- 9. J-Scope هو A-Scope معدل حيث تكون قاعدة الوقت دائرة وتظهر الأهداف كانحرافات قطرية عن هذه القاعدة .

- I-Scope .10 هو عارض يظهر الهدف فيه كدائرة كاملة عندما يشير تعواتي الرادار إليه تماما، بحيث ينتاسب نصف قطر الدائرة مع بعد الهدف؛ وعدم التوجيه الصحيح لهوائي الرادار باتجاه الهدف يغير الدائرة إلى قطعة بحيث ان طول قوسها ينتاسب عكسيا مع الخطأ المؤشر Pointing Error ويشير مكان القطعة إلى معكوس اتجاه تأشير الهوائي .
- 11. A- Scope هو A- Scope معدل: يظهر الهدف على هذا العارض كزوج من الاتحرافات العمودية، وعندما يشير هوائي الرادار بشكل صحيح إلى الهدف فإن الحارفين يكون لهما نفس الارتفاع وعندما لا يشير إلى الهدف فإن الفرق في اتساع الحارفان يشير إلى اتجاه واتساع الخطأ المؤشر (Pointing Error).
- 12. Ecope : يظهر الهدف على هذا العارض كزوج من الإشارات أو النبضات الرادارية، واحدة تمتد إلى اليمين بعيدا من قاعدة وقت عمودية مركزية والأخرى إلى اليسار. وعدما يشير الرادار مباشرة إلى الهدف يتساوى اتساع الاشارتين. وعدم المساواة تعني وجود خطأ نسبي مؤشر، وتمثل المسافة باتجاه الأعلى وعلى طول خط القاعدة بعد الهدف.
- 13. M -Scope أبد أنواع A- Scope حيث أن بعد الهنف يتقرر بواسطة تحريك إشارة تعيير ومتغيرة (Pedestal على طول خط القاعدة وحتى تتطبق مع الموضع الأفقي لاتحراف الشارة الهدف، والضابط (Control) الذي يحرك القاعدة (pedestal) يعير في البعد أو المسافة .
- N Scope منغيرة الم Pedestal هو K -Scope له إشارة قاعدة Pedestal منغيرة للتضبيط كما في M -Scope القياس المسافة.

- O- Scope .15 هو A-Scope معدل وذلك بتضمينه مسننة Notch منفيرة للتضييط لقياس المسافة.
- PPI -Scope وأيضا تدعى Plan Position Indicator وأيضا تدعى PPI -16
 هو عارض دائري يعدل الكثافة، وتوضع به إشارات الصدى الناتجة عن
 الأجسام العاكسة على مكان Plan مع المدى، وزاوية السمت Azimuth
 تعرض على محاور قطبية (ROH Theta) تشكل عرض ممثل الخارطة.
- R- Scope .17 هو R- Scope مع قطعة لقاعدة زمنية تمتد بجانب الإشارة او النبضة الرادارية Blip للدقة الكبيرة high Accuracy في قياس بعد الهدف.
- 18. مشير المدى والارتفاع (RAH) : عارض عارب عارض المسافة العمودية من تعديل الكثافة حيث يمثل المحور العمودي الارتفاع (المسافة العمودية من الأفق) ويمثل المحور الأفقي المدى (المسافة المباشرة من الرادار إلى الهدف) وبالثالي يمكن تحديد اثجاه الهدف (الزاوية) من العلاقة الجبيبة المسافتين.

7-6 مفهوم دويلر وإيجاد العلاقة بينها وبين سرعة الهدف

Doppler Frequency Shift

عندما يكون مصدر الموجة الصوتية ثابت لا يحدث أي إزاحة للتردد. أما إذا كان مصدر الموجة الصوتية أو الطرف الذي يستقبل هذه الموجة في حالة حركة ضوف يحدث إزاحة لتردد الموجة. وهذا ما يعرف بتأثير دوبلر والذي يمثل مبدأ عمل الرادار نو الموجة المستمرة CW.

فإذا كانت المسافة بين الرادار والهدف تساوي R، فمن الطبيعي أن تساوي نلك المسافة عدد أطوال الموجة (n) المتكونة منها. وبالتالي فان أطوال الموجة المحتواة في المسار من الرادار إلى الهدف وإلى الرادار مرة أخرى ضعف ذلك العدد، أي:

حيث R وλ لهم نفس وحدة القياس.

وبما ان كل 1 طول موجي يقابله 2π Radian ، فان الانحراف الزاوي الكلي الناتج عن إرسال واستقبال الموجة الكهرومغناطيسية 1 يساوي:

 $I = 2\pi(2R/\lambda) = 4\pi R/\lambda = 2\pi n$

فإذا كان الهدف المرصود متحرك فان المسافة R تكون متغيرة وبالتالي فان الانحراف الزاوي I يصبح متغير، حيث العلاقة طردية بينهما.

و لأي موجة ممثلة جيبيا:

 $X(t) = A\sin(\theta)$

فان القيمة اللحظية للتردد الزاوي ω يساوي مشتقة الزاوية نسبة الزمن: $\omega = d\theta/dt$

ومشتقة الاتحراف الزلوي I تمثل تردد دوبار الزلوي Doppler، ويساوى:

 $\omega_{d} = 2\pi f_{d} = dI/dt$ $= d(4\pi R/\lambda)/dt$ $= (4\pi/\lambda) dR/dt$

ديث R متغيرة مع الزمن، ومشتقة المسافة تعطي السرعة V_r :

 $\omega_d = 4\pi V_r / \lambda$

وبالنالي:

$$\begin{split} f_d &= \omega_d / 2\pi = (4\pi \ V_r / \lambda) / \ 2\pi \\ &= 2 V_r / \lambda \\ &= 2 V_r f_0 / C \end{split}$$

حيث:

fa: نردد دوبار.

fo : التردد المرسل.

ه: تردد دوبار الزاوي.

 $.3*10^8$ m/sec = مرعة النشار الموجة :C

ان هذه العلاقة تعد علاقة تقريبية حيث تم فرض تساوي المسافة من الرادار إلى الهدف مع المسافة من الهدف إلى الرادار التسهيل بالرغم من اختلافهما (زيادة أو نقصان بحسب اتجاه الجسم المتحرك).

أما التعبير الدقيق لنزدد دوبلر f_a من عند هدف متحرك بسرعة نسبية V_c إذا كان النزدد المرسل يساوي f_0 فيعطى بالعلاقة التالية:

 $f_d \approx f_0[(1+V_r/C)/(1-V_r/C)]$

مثال 1: لحسب سرعة سيارة راقبه رادار وسجل عنها نردد دوبلر يساوي 250 Hz. إذا كان التردد المرسل بساوي GHz.

الحل:

من علاقة نردد دوبار يمكن حساب سرعة الجسم: $f_d = 2 V_r \, f_0 / C \label{eq:fd}$

وبالتالي:

 $V_r = f_d * C /2f_0$ = 250* 3*10⁸/2*10⁹
= 37.5 m/sec
=37.5 *10⁻³/(1/3600) = 135 Km/hour

مثال2: إذا كان جسم بتحرك موقعه وفقا للعلاقة التالي:

 $R = 10t^2 + 15$

وتم التقاطه بواسطة رادار، فإذا كان التردد الإشارة المرسلة من الرادار تساوى GHz 3 جد:

1. الاتحراف الزاوى عند أي لحظة.

2. الانحراف الزاوي عند الثانية الأولى t=1 sec.

3. تردد دوبار عند الثانية الأولى t=1 sec.

الحل:

لإيجاد الاتحراف الزاوى نحسب أولا الطول الموجى للإشارة:

$$\lambda = C/f$$

= 3*10⁸/3*10⁹
=0.1 m

1. نطبق علاقة الانحراف الزاوي فنحصل على:

$$I = 4\pi R/\lambda = 4*3.14*(10t^2+15)/0.1$$
$$= 1256t^2+1884$$

2. نعوض في قيمة الزمن في المعادلة التي حصلنا عليها في الفقرة السابقة:

$$I = 1256 * 1 + 1884$$
$$= 3140$$

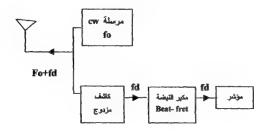
أو لا يجب أن نحسب سرعة الجسم في ذلك اللحظة من خلال اشتقاق علاقة
 المسافة:

$$V_r$$
=dR/dt =d(10t²+15)/dt
= 20t
= 20*1=20 m/sec
: ويمكن الآن لپجاد نردد دوبار من القانون مباشرة
 $f_d = 2V_r/\lambda$
= 2*20/0.1 = 400 Hz

7-7 نظام الرادار أو الموجة المستمرة

Continuous Wave Radar (CW)

يستخدم هذا الرادار موجة معدلة Modulated Signal أو غير معدلة، وهو رادار مهم لما له من تطبيقات عديدة ومهمة في الحياة العملية. والشكل التالي يوضح المخطط الصندوقي لهذا الرادار:



من الملاحظ ان الشكل العام لهذا الرادار يتشابه مع الرادار النبضي، حيث يتكون من هواتي واحد للإرسال والاستقبال معا واحتوائه على دائرة إرسال واستقبال. ومن الأمثلة على رادارات الموجة المستمرة رادار Proximity (VT) Faze.

ووظيفة مكونات رادار الموجة المستمرة التي تشكل مبدأ عمله يمكن تلخيصها بما يلى:

1. المرسلة Transmitter: تقوم بتوايد موجة اهتزاز مستمرة بتردد f_0 ، ويتم إرسال هذه الموجة عبر الهوائى نحو الهدف الذي يمنص جزء من طاقتها

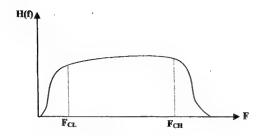
ويعكس الباقي في جميع الاتجاهات فيعود جزء منها مرة أخرى إلى الرادار.

ان تردد الموجة المرتدة إلى الرادار لا يساوي التردد المرسل تماما. فالجسم المتحرك الذي يصطدم بالموجة ويعكسها بتسبب بلزاحة لتردد الموجة يعتمد على اتجاه حركة الجسم (إذا كان يتحرك باتجاه الرادار أو عكس اتجاه الرادار). فيكون تردد الموجة المستقبلة من قبل الرادار مساويا:

أ. f_0+f_0 : أي زيادة في قيمة التردد للمستقبل عن التردد المرسل بغارق f_0 ، ويحدث ذلك إذا كان الجسم يتحرك نحو الرادار وبالتالي تقليل المسافة بينه وبين الرادار.

ب. f_{o} - أي نقصان في قيمة النردد المستقبل عن النردد المرسل بغارق f_{o} - f_{o} ، ويحدث ذلك إذا كان الجسم يتحرك بعيدا عن الرادار وبالثالي نزداد المسافة بينه وبين الرادار .

- 2. الكاشف المازج Detector Mixer : الحصول على موجة تردد متوسط حيث يقوم بمزج الإشارة المستقبلة (ذات التردد fo±fd) بجزء من إشارة أللم المرسلة (ذات التردد fo)، فتنتج نغمة تسمى "Doppler Beat Note" أو نغمة دقة دوبلر.
 - 3. مكبر دوبلر Doppler Amplifier : المكبر وظيفتين أساسيتين، الأولى تكبير إشارة مدى دوبلر إلى المستوى القياسي المطلوب الذي يسمح بتحليل الإشارة وتمييزها عن التشويش. ومن جهة أخرى يعمل المكبر عمل مصفى تمرير حزمة حسب الخصائص الانتقالية (H(f) التالية:



وهذا المصفى له تردد قطع عالي F_{CH} وتردد قطع منخفض F_{CH} ولا بد من شروط تحكم قيمة هذان الترددان. بحيث يمرر المصفى كل ترددات دوبلر المتوقعة. وبناء على نلك، يجب أن يسمح تردد القطع العالي F_{CH} المصفى بمرور أكبر تردد دوبلر متوقع وأن يسمح تردد القطع المنخفض F_{CH} المصفى بمرور أصغر تردد دوبلر متوقع ولكن في الوقت نفسه يجب أن يكون نو قيمة قليلة بحيث لا يمرر الفوانتيات المباشرة الناتجة من اصطدام الإشارة المرسلة بالأجسام الثابتة (الأرض، الأشجار، المباني،....) وارتداد الإشارة عن هذه الأجسام غير المعنية ورجوعها إلى الرادار وأحيانا يكون من الصعب تحقيق الشرطين المتعلقين بتردد القطع المنخفض F_{CL} فيتم عمل نوع من التوافق البيدما.

4. المؤشر Pointer: بالرغم من اختلاف أنواع المؤشرات إلا أن طبيعة عملها يبقى واحد، وهو عرض تردد الإشارة الناتجة من المكبر. فإذا لم يكن من حاجة للمعرفة الدقيقة بقيمة تردد دوبلر الناتج فيمكن استخدام من السماعات Speakers لسماع النغمة (حيث تقع ترددات دوبلر ضمن الترددات المسموعة من قبل الإنسان Audio Signals)، أما إذا كان

المطلوب عرض تردد دوبار فيمكن استخدام مؤشر ترددي Frequency المطلوب عرض مردد دوبار فيمكن استخدام مؤشر ترددي

7-7-1 استعمالات الرادار نو الموجة المستمرة CW

ان الخاصية في رادار دوبار ذو الموجة المستعرة التي تميزه عن الوسائل الأخرى المستخدمة في قياس السرعة هي عدم الحاجة إلى اتصال فيزيائي بين جهاز القياس وبين الجسم المراد قياس سرعته.

ان للرادار ذو الموجة المستمرة تطبيقات عملة كثيرة متعددة تعتمد على مبدأ عمله في قياس المرعة النسبية لجسم متحرك منها:

- 1. الرادار المراقب السرعة المستخدم من قبل شرطة السير.
- جهاز قياس (meter) لقياس معدل Average الصعود الطائرات عند إقلاعها نحو الأعلى.
 - 3. التحكم في الإشارات الضوئية لتنظيم حركة السير.
- 4. يستعمل كبديل لمقياس المرعة Fifth-Wheel اقياس وتنظيم الدقات في الخلمة الحجرات على العربات، حيث يستقاد منه في فحص العربات في أنظمة الغرامل وتجنب الاصطدام.
- 5. يستسمل كمقياس للمرعة لاستبدال محور العجلة في جهاز قياس مرعة الدوران التقليدية في مجال السكك الحديدية. وفي حالة التسارع أو ضبط الفرامل يحدث اذرائق للعجلات التي تسبب أخطاء التي قد تؤثر في القياس.
 - 6. قياس سرعة عربات الشحن لسكك الحديد في عمليات الحمل الزائد.

- 7. للرادار تطبيقات في مجال الصناعة. حيث يتم استخدام الرادار كجهاز قياس اهتزازات التوربينات وسرعة عجلات المطحنة، كما يستخدم في مراقبة الاهتزازات في كوابل الجمور المتعلقة.
- 8. استخدام الرادار في أنظمة منطورة مثل أنظمة صواريخ هوك، فيتم استخدامه للكشف عن الطائرات والصواريخ والذخائر الحربية وغيرها من الأجسام الطائرة والمتحركة.

ان التطبيقات السبعة الأولى تستخدم فيها موجة لها طاقة قليلة نقاس بوحدة mwatt ، أما التطبيق الأخير فتستخدم فيه موجة ذات قدرة عالية.

لقد حددت تطبيقات كثيرة لرادار الموجة المستمرة CW على المساقات البعيدة نتيجة الصعوبة في فصل الإثبارة المرسلة عن الإثبارة المستقبلة.

8-7 نظام رادار دويار النبضي Pulsed Doppler Radar

يعمل رادار دوبار النبضي على كشف الأهداف المتحركة في وسط ذو درجة عالية من الضوضاء من خلال استخلاص تردد دوبار. فما يحدث في الرادار النبضي عدم الوضوح (الغموض) في قياس تردد دوبار والمدى، ويمكن معالجة ذلك كما يلى:

- الغموض في قياس تردد دوبلر (السرعة النسبية): ويتم تجنب حدوث هذا باستخدام معدل تجزئة عالى (معدل نبضة تكراري قليل).
- الغموض في قياس المدى (تأخير الوقت): ويتم تجنب حدوث هذا باستخدام معدل تجزئة قليل.

ويتضح من ذلك أن معالجة أحد الأمرين برجع سلبا على الآخر. ولكن من الممكن عمل نوع من التوافق بينهما. وبناء على نوع التوافق المستخدم فان الرادار يكون: أ. رادار MTT : حيث يكون لهذا الرادار معدل نبضة تكراري قلبل يسمح بمعالجة الالتباس في قياس المدى، فلا يتم ملاحظة أكثر من مدى (لا يحدث Multiple Time Around Echo). ولكن كما ذكر سابقا فان هذا التوافق يرجع سلبا على قياس السرعة، فبالرغم من عدم قراءة مديات متعددة إلا أنه يحدث قراءة لسرعات متعددة مصللة.

ب. رادار دوبلر النبضي Pulse Doppler Radar : على العكس من التوع الأول فان لهذا الرادار معدل نبضة نكراري عالى يسمح بمعالجة الالتباس في قياس السرعة وتجنب قراءة القياسات المضالة لها، ولكن فان هذا التوافق يرجع سلبا على قياس المدى حيث يتم ملاحظة أكثر من مدى (حدوث ظاهرة Multiple Time).

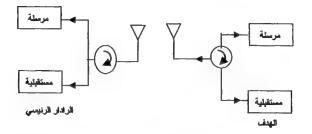
وبالإضافة لتميز رادار دويلر النبضي بالعمل في محيط ضوضائي، فهو البضا أكثر استعمالا لمصفوفات مصغيات دوبلر ذات البوايات المنتظمة Range ومكبرات قدرة مثل Klystron أكثر من استعمال مهتزات قدرة مثل Magnetron ، ولذلك فان لرادار دوبلر النبضي معدل نبضة تكراري عالى (أو يمكن القول أن له Duty Cycle أعلى من رادار (MTI)

وبالمقارنة بين رادار دوبار النبضي Pulsed Doppler Radar ورادار الموجة المستمر CW، فيمكن تمبيز نقطتين المفاضلة:

آ. أداء الكاشف في رادار دوبار النبضي غير محدود بالاشارت المنعكسة من الضوضاء القريبة أوجزء الإشارة المنعكس عن الهدف والراجع إلى المستقبلة حيث يوقف عملها أثناء الإرسال. قابلية الكشف عن الأهداف في رادار دوبار النبضي Pulsed
 قال بسبب البقع المضالة في المدى الناتج من الترددات الراديوية ذات القدرة المالية High Power

9-7 الرادار الثانوي Secondary Radar

يختلف الرادار الثانوي لختلاف رئيسي عن مابقيه، ويظهر ذلك من خلال المخطط الصندوقي للرادار الثانوي الموضح في الشكل التالي:



حيث بعتبر كل من الرادار والهدف "مرمل-مستقبل"، حيث يحتوي الهدف نفسه رادار و Transponder. حيث الغرض من هذا الرادار الكشف عن وجود الهدف وإنما التخاطب معه التعريف عن هويته ومكانه، والتجاوب من قبل الهدف مع الرادار.

ويتم الكشف عن النبضة المرسلة من مركز التحكم عند تردد محدد والتي تقدح تشغيل المستقبلة في "الملتقي والمستجيب" (Transponder)، لإرسال نبضة ثانية إلى مركز التحكم أو القاعدة (الرادار الأرضي). ان إشارة المدى الناتجة في هذا الرادار أقوى من إشارة المدى في الرادارات السابقة والتي كانت تنتج عن الانعكاس عن الهدف (وضياع جزء من قدرة الإثبارة).

والترددات النموذجية المستخدمة في هذه الحالة يمكن أن تكون على النحو التالي:

- من مركز التحكم إلى الهدف: تردد يساوي 1.03 GHz.
- 2. من الهدف إلى مركز التحكم: تردد يساوي 1.09 GHz.

ويستعمل الرادار بعدة طرق كمساعدة الاتصالات البحرية للاستعمال المدني والستعمالات عسكرية أخرى .

وللتخاطب بين الهدف ومركز التحكم لا بد من استخدام إشارة مشغرة خاصة بهم، والضرورية لتحديد هوية الهدف (خاصة في مناطق العسكرية لتحديد هوية طائرات العدو). ولكل من الاستعمالات المختلفة شفرة تخاطب خاصة مبين بعض منها في الجدول التالي:

شفرة الاستجواب Interrogation code	الفاصل الزمني بين النبضات pulse spacing(usec)	الاستعمال	
1	3	تعريف عسكري	
2	5	تعريف عسكري	
3/A	8	ربط عسكري /تعريف منني	
В	17	تعريف مدني	
С	21	الإرتفاع	
D	25	غىر مۇشر	

وحيث ان الهدف مثله كمثل مركز التحكم سوف يستجيب فقط الإشارات محددة أو لا ومرسلة ثانية من هذا الهدف بشكل محدد، فان مشكلة تراكم الضوضاء قد خففت بشكل كبير حيث ان الأهداف غير المرغوبة (المباني، الأشجار،....) سوف ان تعيد إشعاع إشارة قوية عند التردد المخصص.

يتميز نظام الرادار الثانوي على نظام الرادار الأولى من عدة نواحي، يمكن تلخيصها بما يلي:~

- إشارة صدى قوية عند المستعاة والمتحكمة: فبينما كانت إشارة الصدى المرتدة للرادار الأولي ضعيفة فان إشارة الصدى في الرادار الثانوي قوية كونها إشارة مرسلة وليست منعكسة عن المرسلة.
- 2. تعريف الهدف وتعريف موقعه ومكانه: في الرادار الأولي تحددت المعلومة الواصلة للرادار بموقع الهدف وسرعته فقط أما في الرادار الثانوي ونتيجة الاستجواب بين مركز التحكم والهدف فيمكن تحديد هوية الهدف وموقعه ومهمته وغيرها من المعلومات المراد معرفتها عنه.
- 3. يوضع عنوان للهدف عندما يراد ذلك من محطة التحكم فقط: ومن الحالات التي يتم فيها ذلك إذا أراد مركز التحكم التراسل مع أكثر من نقطة جوية متحركة (مجموعة طائرات مثلا).
 - يمكن توفر معلومات مختلفة من الأهداف.
- 5. الضوضاء تخف بشكل كبير معطية نظاما مؤشرا من الهدف المتحرك: ويعود السبب لذلك مرة أخرى لأن الإشارة المستقبلة ليست مرتدة عن الهدف (وبالتالي مستواها ليس ضعيف إذا ما قورن بإشارة التشويش).

7-10 العوامل المؤثرة على عمل الرادار الابتدائي والثانوي

نكرنا أن عدد من المعاملات تحدد أقصى مدى بكشف فيه الرادار الأهداف في موضوع سابق. لكن بوجد عدة عوامل تؤثر على عمل الرادار بشكل عام (سواء الابتدائي أو الثانوي) والراجعة إلى الأشكال المختلفة من التشويش الممكن حدوثه والتي لها تأثير بسبب القدرة القليلة للإشارة المرتدة نتيجة امتصاص جزء وتثبتت جزء آخر من الإشارة المرسلة، وبالتالي أي قيمة محسوسة للتشويش تؤثر سلبا على النظام ككل. ومن العوامل المؤثرة على عمل الرادار (أو أسباب التشويش المؤثر في النظام):

1. التشويش المواد في المستقبلة Receiver

طبيعة عمل الرادار تعتمد على إرسال إشارة واستقبال الإشارة المرتدة منها عن الهدف الذي يتم رصده. وبالرغم من إرسال الإشارة بقدرة عالية (إشارة مرسلة قوية) إلا أن هذه الإشارة تنتشر في مساحة واسعة من جهة ومن جهة أخرى فان جزء من قدرتها يفقد ننتجة الاصطدام بالهدف. وبالتالي فان قدرة الإشارة المستقبلة لا تكن كبيرة بالقدر الكافي أحيانا. ويقوم هوائي دائرة الاستقبال بالتقاط إشارات التشويش الخارجي والتي قد تكون لها قدرة أعلى من الإشارة المطلوبة في بعض الأحيان، ويتم تكبير إشارة المدى كما يمكن أن ينتج تشويش من مكونات دائرة الاستقبال نفسها (كالتشويش الحراري). ويمكن التقايل من هذه المشكلة بتقليل عرض النطاق الموجة المرمية.

وبشكل علمي يتم التوفيق بين استخدام عرض حزمة ضبيقة التخلص من التشويش واستخدام عرض حزمة واسع يضمن الحصول على شكل إشارة جيد.(Narrow Band Width, Wide Band Width) 2. التشويش الخارجي الناتج من الظواهر الطبيعية External Noise 2 Caused by Natural Phenomena:

الكثير من الظواهر الطبيعية مثل التغريغ الكهربائي والإشعاعات الشمسية والإشعاعات الشمسية والإشعاعات الكونية تسبب التداخل مع الإشارة المرتدة والتي كانت تؤثر في الأنظمة ذات الطول الموجي الكبير، لكنها لا تعرقل عمل الرادارات ذات التقنية العالية المستخدمة في هذه الأيام لأنها تستخدم إشارات ذات طول موجي صغير جدا.

3. للتشويش الخارجي الناتج عن العاملين (External Man Noise) : (Made

غالبية مصادر التردد (الإشارة) سواء من المرسلات أومن آلات كهربائية من أنواع متعددة حيث تدخل هذه الإشارات إلى الهوائي وتدخل إلى المستقبلة ومنها إلى الشاشة حتى عندما يعمل جهاز الرادار بجانب جهاز أخر (رادار) بنفس التردد .

التشويش الناتج عن ارتداد الإشارات بواسطة ظواهر طبيعية Signals :
 Reflected By Natural Phenomena

نؤثر بعض الظواهر الطبيعية كالعواصف والغيوم والأمطار على عمل الرادار، حيث نقوم بعكس بعض الإثبارات الناتجة عن الرادار. وتدخل دراسة هذه الظواهر ضمن اهتمامات رجال الأرصاد الجوية، لانها تعمل على تغطية الإثبارة المرتدة ومنعها في بعض الأحيان من الوصول إلى المستقيلة مرة أخرى .

5. التشويش الناتج عن ارتداد الإشارات عند التضاريس الأرضية Signals . Reflected By Land Masses:

- عندما يكون الهدف مجاور لقطعة أرضية كبيرة نسبيا فان الأرض نكون بمثابة عائق للإشارة الموصول إلى الهدف وبتالي لا نحصل على ارتدادا إشارة جبد .
- 6. التشويش الناتج عن تكور سطح الأرض (Curvature Of The) .6 Earth
- الأرض ليست مسطحة وإنما كروية (منحنية) مما يسبب عدم وصول الإشارة إلى العدف في بعض الأحيان إذا كان بعيد بشكل كبير عن الرادار وعلى ارتفاع غير كافي.
- 7. التشويش الناتج عن حجم وشكل الهدف والمادة المصنوع منها (and Shape of the Object and the Material It Is Made of
- ترند الموجة المرسلة ذات القدرة العالية عن سطح الجسم راجعة إلى الرادار، بقدرة كبيرة أو صغيرة أو منوسطة وهذا يعتمد على طبيعة الهدف من حيث: --
- ا. عندما يكون الهنف معنني فإن الطاقة المرتدة تكون كبيرة: حيث يعمل المعنن (أو الفاذ) كسطح عاكس جيد للأمواج.
- 2. عندما يكون الهدف ذو مساحة لكبر فإن الطاقة المرتدة تكون كبيرة: فكلما كان الهدف كبير الحجم والمساحة السطحية كان من الأيسر الكشف عنه حيث تزداد لحتمالية اصطدام الموجة المرسلة به.
- 3. عندما يكون الهدف قريب فان الطاقة المرتدة تكون كبيرة: فالعلاقة عكسية بين كثافة الموجة ومربع البعد عن الهدف فكلما صغرت المسافة بين الرادار والهدف كلما ازدادت كثافة الموجة عند النقطة التي يقع عندها الهدف.

 عندما يكون وجه الهدف المقابل الرادار أملس فان الطاقة المرتدة تكون كبيرة: فالسطح الخشن يسبب تشتت الأمواج المنعكسة إلى جميع الاتجاهات بشكل غير منتظم.

أمئلة الوحدة السامعة

- س1) ما هو الرادار Radar ؟
- س2) ما الفرق بين المعلومة التي يحصل عليها الرادار والمعلومة التي تحصل عليها العين البشرية؟
 - س3) ارسم المخطط الصندوقي العام الرادار.
 - س4) ما مبدأ عمل الرادار الأولي؟
 - س5) عدد خصائص الرادار.
 - س6) اشرح مكونات الرادار الأولى ووظيفة كل جزء.
 - 7) كيف يتم تحديد كل من بعد الهدف واتجاهه بواسطة الرادار؟
- س8) إذا كان الزمن الكلي المقاس من قبل الرادار والذي استغرقته إشارة للوصول إلى طائرة والاصطدام بها والارتداد عنها إلى الرادار يساوي 0.01msec، فما بعد الطائرة عن نقطة الرادار:
 - أ. بوحدة Km.
 - ب. بوحدة nmi.
- س9) إذا كان البعد الحقيقي لطائرة عن قاعدة الطائرات يساوي 1.5 km ولكن تم قياسه من رادار على أنه يساوي 1.2 km فما قيمة الخطأ في قياس الزمن ؟
- س10) إذا كان الزمن الكلي المقاس من قبل الرادار والذي استغرقته إشارة للوصول إلى طائرة والاصطدام بها والارتداد عنها إلى الرادار يساوي 0.015msec. فما بعد الطائرة عن نقطة الرادار:
 - أ. بوحدة Km.

ب. بوحدة nmi

س11) إذا كان البعد الحقيقي لطائرة عن قاعدة الطائرات يساوي 1.3 Km ولكن تم قياسه من رادار على أنه يساوي 1.2 Km فما قيمة الخطأ في قياس الزمن؟

س12) ما العلاقة بيت تردد الشارة المرسلة والمدى؟

س13) كيف يتم التشفير في الرادار النبضي Pulsed Radar ؟

س14) كيف يتم التشفير في رادار الموجة المستمرة CW ؟

س15) ارسم المخطط الصندوقي الرادار ثم اشرح وظيفة كل من:

- 1. المرسلة Transmitter
 - 2. المزدوج Duplexer
 - المازج Mixer
- 4. الكاشف الثاني Detector

س16) عدد خصائص مدخل المازج Mixer المستخدم في أنظمة الرادار.

س17) ما العوامل المؤثر على أقصى مدى للرادار؟

س18) ما الفائدة من المعادلة الأساسية للرادار؟

س19) إذا أردنا زيادة أقصى مدى لرادار ثلاثة أضعاف، فإلى أي قيمة بجب ان نرفع قدرة النبضة المرسلة؟ (على فرض تثبيت باقي القيم الأخرى المؤثرة على المدى)

س20) لحسب أقصى مدى پستطيع رادار تمييز هدف عنده، إذا علمت أن كسب هوائي الرادار يساوي 15

- وقيمة δ تساوي 10 والمسلحة الفعالة لهواتي الاستقبال 50 m²، وأقصى قيمة للقدرة المستقبلة تساوي 0.1 μwatt بينما قدرة الإشارة المرسلة تساوي 120 watt.
- س21) إذا كانت المساحة الفعالة لهوائي 20m^2 وكسبه 60dB وقدرة الإشارة المرملة 10w أوقل قدرة للإشارة المستقبلة 0.25uw . قيمة δ تساوي 15، لحسب أقصى مدى الرادار في هذه الحالة.
- س22) ما بعد الهدف عن الرادار في السؤال السابق، إذا كانت قدرة الإشارة المستقبلة يساوي 0.15mw?
- س23) احسب قطر الهوائي للرادار، بحيث يحقق لقصمي مدى بساوي 3000m، إذا كانت قدرة الإشارة المرسلة 1500 watt و 6 تساوي 10، وأقصمي قدرة مستقبلة ذات قيمة 40¹⁴ watt، والتردد المستخدم يساوي 1.09GHz.
- س24) لحسب سرعة سيارة راقبه رادار وسجل عنها نردد دوبار يساوي 250 Hz، إذا كان التردد المرسل يساوي GHz 2.
- س25) لحسب سرعة سيارة راقبه رادار وسجل عنها نردد دوبار يساوي 300 Hz، إذا كان التردد المرسل يساوى GHz 2.
 - س26) إذا كان جسم يتحرك موقعه وفقا للعلاقة التالي: $R = 20t^2 + 10t$

وتم النقاطه بولسطة رادار، فإذا كان النردد الإشارة الموسلة من الرادلو نساوى GHz 6، جد:

- 1. الانحراف الزاوي عند أي لحظة.
- 2. الانحراف الزاوي عند الثانية الأولى t=1 sec.

- 3. تردد دوبار عند الثانية الأولى t=1 sec.
- س27) إذا كان جسم يتحرك موقعه وفقا للعلاقة التالي:
 - $R = \sin(200t)$
- وتم التقاطه بواسطة رادار، فإذا كان التردد الإشارة المرسلة من الرادار تساوى GHz 6، جد:
 - الاتحراف الزاوى عند أي لحظة.
 - الاتحراف الزاوي عند الثانية الأولى t=1 sec.
 - 3. تردد دوبار عند الثانية الأولى t=1 sec.
 - س28) أعد السؤال المابق عند اللحظة t=2 sec.
 - س29) كيف يؤثر شكل الهدف ونوعه على قيمة القدرة المستقبلة للرادار ؟
- س30) ما وظيفة العارض Display؟ ما هي أنواع العوارض المستخدمة مع الرادار الأولى؟ تكلم عن كل نوع منها باختصار.
 - س31) ما الفرق بين الرادار الأولى والرادار الثانوي؟
 - س32) ما استخدامات الرادار الثانوي؟
 - س33) ما استخدامات الرادار ذو الموجة المستخدمة CW ؟
 - س34) ما أنواع التشويش المؤثرة في عمل الرادارات؟
 - س35) ما أنواع المؤشرات المستخدمة في الرادار ذو الموجة المستمرة CW ؟
- س36) ما الغرق بين رادار MTI.ورادار دوبلر النبضي Pulsed Doppler Radar؟
- س37) ما أساس التصنيف بين رادار MTT ورادار دوبلر النبضي Pulsed . Doppler Radar ؟

س38) ما الغرق بين رادار الموجة المستمرة Pulsed Doppler Radar?
ورادار دوبار النبضي Pulsed Doppler Radar?
س39) كيف يتم معالجة التشويش الناتج خلال المستقبلة في الرادار؟
س40) ما قيمة المتردد المستخدم في التراسل من وحدة التحكم إلى الهدف

ن:4335 تاريخ استلام: 4335/262

المراجع العلمية References

- 1. دوسيه "أنظمة الاتصالات I"، إعداد تخبة من المهندسين.
- دوسیه "Communication Systems"، للدکتور حمدي شرشر، جامعة المنصورة، مصر.
- Introduction to Radar System; Merrill L. Skolnik. 2nd .3 edition
 - MTI and Pulsed Doppler Radar; D. Curtis Schleher .4
 - Microwaves, An Introduction to Microwave Theory and .5
 .Techniques; A.J. Baden Fuller; 2nd edition
- Introduction to Microwaves, Gershon J. Wheeler, Prentice .6 Hall, 1963.
 - 7. دوسيه "Digital Communication"، للمهندسة مريم أخواز هيه.
 - Electromagnetics, John D. Kraus, Fourth Edition .8
- Principles of Communication Systems, Taub Schilling, 2nd .9 edition .
- Analogs and Digital Communication Systems, Martin 10 S. Roden; 4th edition.
 - Analogs and Digital Communication 2th edition. .11



